

# ESTAÇÃO ROBOTIZADA DE MARCAÇÃO DE PNEUS

**JOSÉ LUÍS FONTES CASTRO SÁ**

Julho de 2019

# ESTAÇÃO ROBOTIZADA DE MARCAÇÃO DE PNEUS

José Luís Fontes Castro Sá



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2019



Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: José Luís Fontes Castro Sá, Nº 1121438, 1121438@isep.ipp.pt

Orientação científica: Eng. Manuel Fernando dos Santos Silva, mss@isep.ipp.pt

Empresa: Gislotica – Mechanical Solutions Lda.

Supervisão: Eng. José Carlos Lobinho Gomes, lobinho.gomes@gislotica.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

14 de julho de 2019





## *Agradecimentos*

Expresso aqui os meus sinceros agradecimentos às pessoas que direta e indiretamente colaboraram neste trabalho.

Agradeço aos meus orientadores engenheiro José Carlos Lobinho Gomes e engenheiro Manuel Fernando dos Santos Silva por todo o apoio e disponibilidade demonstrada durante o desenvolvimento do projeto, ajudando assim a uma evolução construtiva.

Um agradecimento à empresa Gislotica e a todos os colaboradores que, de alguma forma, contribuíram para a realização do meu projeto.

Agradeço aos meus amigos que de algum modo me acompanharam no desenvolvimento deste projeto, dando motivação e ajuda na resolução de problemas e na leitura do documento.

Por último e o mais importante queria agradecer à minha família e namorada pelo apoio incondicional dado em todas as ocasiões, sem ele seria impossível a sua conclusão.



## *Resumo*

Nas últimas décadas, tem sido denotado um aumento da competitividade empresarial, a qual, tem aumentado a uma cadência exponencial conduzindo ao desenvolvimento de mecanismos que contribuem tanto para o aumento de qualidade como para a diminuição do custo dos produtos. Este projeto surge com esse mesmo intuito, viabilizar uma nova solução para um produto já existente, tendo como objetivo o estudo e implementação de um sistema de marcação de pneus com recurso à tecnologia LTA para um sistema flexível.

Deste modo, o trabalho foi realizado de forma a desenvolver um sistema que cumprisse os requisitos da empresa, também definidos como os objetivos do trabalho. Assim sendo, foi necessário desenvolver inúmeros componentes que possibilitassem criar um *set-up* necessário para a elaboração deste, como garras mecânicas para um robô industrial, mesas de apoio para suporte do pneu, *hardware* e *software* para a visão artificial e a criação de *software* para o robô industrial. Durante o decorrer do projeto, também foram desenvolvidas simulações para validação do trabalho realizado. Para finalizar, foi implementado um protótipo com o intuito de realização de testes e obtenção dos respetivos resultados.

Assim, nesta dissertação está documentado todo o desenvolvimento necessário, salientando todas as superações relativas às dificuldades encontradas durante a elaboração da mesma, tendo como resultado final a demonstração da viabilidade e cumprimento dos objetivos propostos.

## *Palavras-Chave*

Robôs industriais, indústria de pneus, visão artificial, marcação LTA, troca de ferramenta.



## *Abstract*

In recent decades, there has been an increase in business competitiveness, which has increased at an exponential rate, leading to the development of mechanisms that contribute to both increasing quality and reducing the cost of products. This project is designed for the same purpose, to enable a new solution to an already existent product, with the objective of studying and implementing a marking system using LTA technology for the marking of tires in a flexible system.

In this way, the project was carried out in order to develop a system that fulfilled the requirements of the company, also defined as the objective of the work. Therefore, it was necessary to develop numerous components that would allow creating a set-up necessary for the elaboration of this work, such as mechanical grippers for an industrial robot, support tables for tire support, hardware and software for artificial vision and creation of software for the industrial robot. During project development, simulations were also developed for constant validation throughout the project. Finally, a prototype was implemented with the purpose of conducting tests and obtaining the respective results.

Thus, in this dissertation all the necessary development is documented, highlighting all the overcomings related to the difficulties encountered during the design of the project, having as final result the demonstration of the viability and fulfilment of the proposed objectives.

### ***Keywords***

Industrial robots, tire industry, artificial vision, LTA marking, tool changing.



# Índice

|   |             |
|---|-------------|
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>   | <b>I</b>    |
| <b>RESUMO .....</b>   | <b>III</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>V</b>    |
| <b>ÍNDICE .....</b>   | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>  | <b>IX</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>  | <b>XIII</b> |
| <b>ACRÓNIMOS.....</b>   | <b>XV</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....   | 2           |
| 1.2. GISLOTICA .....  | 2           |
| 1.3. OBJETIVOS .....  | 5           |
| 1.4. CALENDARIZAÇÃO .....   | 5           |
| 1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....                                   | 7           |
| <b>2. CONCEITOS TEÓRICOS .....</b>                                    | <b>9</b>    |
| 2.1. PNEU.....  | 9           |
| 2.2. ROBÓTICA INDUSTRIAL.....   | 16          |
| 2.3. TROCA DE FERRAMENTA.....   | 20          |
| 2.4. FERRAMENTA DE MARCAÇÃO .....                                     | 22          |
| 2.5. COMUNICAÇÃO PROFINET .....                                       | 22          |
| 2.6. VISÃO ARTIFICIAL.....  | 24          |
| <b>3. APLICAÇÕES DE AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PNEUS .....</b>         | <b>31</b>   |
| 3.1. SOLUÇÃO DE ROBÓTICA PARA A INDÚSTRIA DE PNEUS.....               | 32          |
| 3.2. SOLUÇÕES DE ROBÓTICA DA GISLOTICA PARA A INDÚSTRIA DE PNEUS..... | 35          |
| 3.3. EQUIPAMENTOS PARA MARCAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PNEU .....             | 36          |
| <b>4. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO .....</b>                                | <b>39</b>   |
| 4.1. ARQUITETURA .....  | 41          |
| 4.2. FUNCIONAMENTO DO PROJETO .....                                   | 42          |
| 4.3. FUNCIONALIDADES.....   | 43          |
| <b>5. IMPLEMENTAÇÃO .....</b>   | <b>47</b>   |



|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 5.1.      | <i>HARDWARE</i> .....                   | 47         |
| 5.2.      | <i>SOFTWARE</i> .....                   | 71         |
| <b>6.</b> | <b>TESTES E RESULTADOS</b> .....        | <b>85</b>  |
| 6.1.      | FERRAMENTA DE MARCAÇÃO .....            | 85         |
| 6.2.      | TROCA DE FERRAMENTA .....               | 86         |
| 6.3.      | MESAS DE MARCAÇÃO .....                 | 87         |
| 6.4.      | VISÃO ARTIFICIAL .....                  | 92         |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....                 | <b>97</b>  |
|           | <b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS</b> .....    | <b>99</b>  |
|           | <b>ANEXO A. MESAS DE MARCAÇÃO</b> ..... | <b>101</b> |
|           | <b>ANEXO B. CIRCUITO ELÉTRICO</b> ..... | <b>107</b> |

## Índice de Figuras

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Distribuição dos clientes e associados da Gislottica – Mechanical Solutions [1] ..... | 3  |
| Figura 2  | Exemplos de máquinas criadas pela Gislottica – Mechanical Solutions [1] .....         | 3  |
| Figura 3  | Componentes de um pneu [3].....   | 10 |
| Figura 4  | Marcações laterais de um pneu [4].....  | 11 |
| Figura 5  | Exemplos de símbolos de segurança [4] .....   | 12 |
| Figura 6  | Etiqueta de código de barras num pneu [5].....  | 13 |
| Figura 7  | Marcação de símbolos relativamente à origem [6].....                                  | 15 |
| Figura 8  | Típico robô industrial [7] .....  | 18 |
| Figura 9  | Troca de ferramenta com extensão para conexões elétricas [15] .....                   | 21 |
| Figura 10 | Imagem da ferramenta de marcação [17] .....   | 22 |
| Figura 11 | PROFINET comunicação em tempo real [21] .....   | 23 |
| Figura 12 | Topologias da comunicação PROFINET [21] .....   | 24 |
| Figura 13 | Etapas de um sistema de processamento de imagens [22] .....                           | 26 |
| Figura 14 | Componentes de um sistema de captura de imagem.....                                   | 27 |
| Figura 15 | Linha descentralizada na zona de qualidade .....                                      | 32 |
| Figura 16 | Linha centralizada na zona de qualidade.....  | 32 |
| Figura 17 | Criação do trilho de um pneu por um robô [24].....                                    | 33 |
| Figura 18 | Robô de carregamento da prensa de cura [25] .....                                     | 33 |
| Figura 19 | Robô de armazenamento de pneus [25] .....   | 34 |
| Figura 20 | Robôs de paletização de pneus.....  | 34 |
| Figura 21 | Robô de carregamento automático de bobines [26] .....                                 | 35 |
| Figura 22 | Sistema de deposição de silicone no interior do pneu [26] .....                       | 36 |
| Figura 23 | <i>Spotting Station</i> [26].....   | 37 |
| Figura 24 | <i>Combo Marking Station</i> [26].....  | 37 |
| Figura 25 | <i>Inspection Station</i> [26] .....  | 38 |
| Figura 26 | Demonstração da implementação atual.....  | 39 |
| Figura 27 | Demonstração da implementação desenvolvida.....                                       | 40 |
| Figura 28 | Arquitetura do sistema .....  | 41 |
| Figura 29 | Fluxograma do funcionamento do projeto .....  | 42 |
| Figura 30 | Troca de ferramenta .....   | 44 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 31 | Dispositivo de marcação das QM [17] .....   | 44 |
| Figura 32 | Esboço de garras desenvolvidas .....  | 48 |
| Figura 33 | Garra abrangente ao maior número de alternativas .....  | 48 |
| Figura 34 | Validação do pneu em pé com o piso direcionado para o robô .....  | 49 |
| Figura 35 | Validação do pneu em pé com o talão direcionado para o robô .....   | 49 |
| Figura 36 | Validação do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo .....   | 50 |
| Figura 37 | Ferramenta de marcação para a solução do pneu deitado .....   | 50 |
| Figura 38 | Validação da solução do pneu deitado .....  | 51 |
| Figura 39 | Ferramenta de marcação de 2 pontos depois de realizada a análise em tensão .....  | 52 |
| Figura 40 | Solução para a retirada da dobradiça para a ferramenta de marcação que abrange todo o pneu  | 53 |
| Figura 41 | Entrada no pneu para marcação abrangente do pneu todo, marcação dos símbolos tortos   | 53 |
| Figura 42 | Ferramenta de marcação para todo o talão do pneu .....  | 54 |
| Figura 43 | Ilustração do KBA e seu controlador .....   | 54 |
| Figura 44 | Apoios e <i>stand</i> da ferramenta de marcação com triângulos .....  | 55 |
| Figura 45 | Solução final para o apoio da ferramenta no stand de ferramentas .....  | 55 |
| Figura 46 | Solução real do <i>stand</i> da troca de ferramenta .....   | 56 |
| Figura 47 | Ferramentas de marcação finalizadas .....   | 56 |
| Figura 48 | Implementação real da ferramenta de marcação .....  | 57 |
| Figura 49 | Implementação real das garras .....   | 57 |
| Figura 50 | Mesa para a solução do pneu em pé com o talão direcionado para o robô .....   | 58 |
| Figura 51 | Simulação da mesa para o pneu em pé com o talão direcionado para o robô .....   | 59 |
| Figura 52 | Primeira e segunda mesas desenvolvidas para a solução do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo ..... | 60 |
| Figura 53 | Mesa final para a solução do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo .....                             | 60 |
| Figura 54 | Simulação da mesa para o pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo .....                                 | 61 |
| Figura 55 | Resultado final para a mesa do pneu deitado .....   | 61 |
| Figura 56 | Simulação da mesa para o pneu deitado .....   | 62 |
| Figura 57 | Esquema pneumático .....  | 63 |
| Figura 58 | Montagem real do <i>hardware</i> pneumático .....   | 64 |
| Figura 59 | Implementação dos componentes de comando do <i>hardware</i> pneumático .....  | 65 |
| Figura 60 | <i>Flash</i> para iluminação de testes .....  | 66 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 61 | Local de implementação da câmara .....   | 67 |
| Figura 62 | Validação das distâncias da câmara .....   | 67 |
| Figura 63 | Criação e conclusão de uma ficha elétrica .....  | 68 |
| Figura 64 | Passagem dos cabos até à troca de ferramenta .....   | 68 |
| Figura 65 | Caixa de derivação do controlador KBA para as trocas de ferramenta.....  | 69 |
| Figura 66 | Circuito elétrico da câmara implementado na prática .....  | 70 |
| Figura 67 | Cartas I/O do robô .....   | 71 |
| Figura 68 | Conversão do filtro <i>Bayer</i> para tons de cinza.....   | 72 |
| Figura 69 | Binarização do pneu .....  | 73 |
| Figura 70 | Binarização para deteção do código de barras .....   | 73 |
| Figura 71 | Conversão do filtro <i>Bayer</i> para RGB .....  | 75 |
| Figura 72 | Imagem binarizada .....  | 75 |
| Figura 73 | <i>Canny</i> da imagem binarizada .....  | 76 |
| Figura 74 | Representação do movimento da ferramenta de marcação com a atualização da Utool<br>78  |    |
| Figura 75 | Fluxograma do funcionamento do programa de fazer a marcação.....   | 80 |
| Figura 76 | Diagrama de blocos do funcionamento do programa de troca de ferramenta.....  | 83 |
| Figura 77 | Resultado final da ferramenta de marcação .....  | 85 |
| Figura 78 | Validação da zona de marcação .....  | 86 |
| Figura 79 | Validação da marcação da QM .....  | 86 |
| Figura 80 | Validação da troca de ferramenta.....  | 87 |
| Figura 81 | Validação da mesa de marcação.....   | 88 |
| Figura 82 | Validação da mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô.....   | 88 |
| Figura 83 | Validação da parte da frente da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com<br>uma inclinação de 30 graus com o solo..... | 89 |
| Figura 84 | Validação da parte de trás da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma<br>inclinação de 30 graus com o solo.....   | 89 |
| Figura 85 | Validação da parte de cima da mesa do pneu deitado .....   | 90 |
| Figura 86 | Validação da parte de baixo da mesa do pneu deitado.....   | 90 |
| Figura 87 | Validação do programa SPOT.....  | 93 |
| Figura 88 | Resultado final do programa QM.....  | 94 |
| Figura 89 | Resultado final do programa QM.....  | 94 |
| Figura 90 | Demonstração dos dados inseridos na linha de comandos pelo programa QM .....   | 95 |



## *Índice de Tabelas*

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Tabela de valores da empresa Gislotica – Mechanical Solutions [2] .....                                    | 4  |
| Tabela 2 | Tabela da calendarização.....  | 6  |
| Tabela 3 | Capacidade de atuação do marcador [1].....   | 14 |
| Tabela 4 | Tabela dos resultados individuais da marcação [6].....   | 15 |
| Tabela 5 | Vantagens e desvantagens da troca da ferramenta ou apenas do marcador .....                                | 51 |
| Tabela 6 | Avaliação da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo..... | 91 |
| Tabela 7 | Avaliação da mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô.....                                   | 91 |
| Tabela 8 | Avaliação da mesa do pneu deitado .....  | 92 |



## *Acrónimos*

|      |   |   |
|------|---|---|
| AGV  | – | Veículo autoguiado                          |
| CCD  | – | <i>charge-coupled device</i>                |
| EUA  | – | Estados Unidos da América                   |
| HMI  | – | Interface homem-máquina                     |
| IFR  | – | <i>International Federation of Robotics</i> |
| KBA  | – | <i>hpdSYSTEM</i> modelo <i>Moto</i>         |
| LED  | – | Díodo emissor de luz                        |
| LTA  | – | Transferência de etiquetas por calor        |
| PC   | – | Computador pessoal                          |
| PLC  | – | Controladores lógicos programáveis          |
| QM   | – | <i>Quality marks</i>                        |
| RGB  | – | Vermelho, verde e azul                      |
| RIA  | – | <i>Robotic Industries Association</i>       |
| UTQG | – | <i>Uniform Tire Quality Grading</i>         |
| VPN  | – | <i>Virtual Private Network</i>              |





# 1. INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo descrever todo o trabalho realizado durante a unidade curricular Tese/Dissertação do 2º ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MEEC), da área de especialização em Automação e Sistemas, do Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE), do Instituto Superior de Engenharia do Porto, tendo início no mês de setembro de 2018.

Na atualidade, o setor da indústria recorre frequentemente à robótica maioritariamente nos processos de fabricação, sendo considerado um elemento indispensável. As inúmeras tarefas que a aplicação da robótica industrial realiza, devem-se às necessidades exigidas no ambiente industrial, às quais um humano não é capaz de as executar com a mesma eficiência e rapidez. O uso em grande escala da robótica na indústria também fez com que os robôs se tornassem mais simples de se utilizar, mais acessíveis a nível de preço e com prestações cada vez melhores. Estes fatores tornam o robô uma ferramenta interessante na implementação de novos produtos.

A robótica industrial com auxílio da visão artificial, tem também vindo a aumentar cada vez mais, uma vez que estabelecem uma relação cada vez mais dependente uma da outra, completando-se em processos distintos.

Por esta razão, a utilização destas duas ferramentas na indústria dos pneus não é exceção, uma vez que se trata também de um ramo bastante automatizado quer no fabrico dos pneus, quer no controlo de qualidade dos mesmos.

Assim, este trabalho tem como intuito a substituição de um conjunto de máquinas automatizadas já existentes para um sistema robotizado com auxílio de visão artificial. Para além disso é usada a visão artificial como ferramenta de avaliação de qualidade.

De seguida, é abordado o surgimento do projeto, os objetivos, as diferentes etapas do seu desenvolvimento e uma breve estruturação do mesmo.

## **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

O projeto surgiu na empresa Gislotica, com o intuito de estudar a viabilidade da passagem do presente processo de marcação de *quality marks*, QM, realizado por um conjunto de estações dedicadas, para um sistema de marcação baseado num robô, cujo principal objetivo do projeto é a validação de tal passagem.

No entanto para realizar esta tarefa é necessário a criação de uma mesa para suporte ao pneu, criação de uma garra para realizar a marcação, a simulação do sistema, com validação prática do projeto simulado através do uso de um robô da FANUC. Estes, foram os objetivos iniciais. Todo este sistema envolve também a incorporação da visão artificial no projeto, para auxílio do posicionamento do robô, tanto a nível de deteção do pneu, bem como no final para a verificação da qualidade da marcação. Durante o processo de desenvolvimento verificou-se que uma das principais dificuldades foi a mesa de suporte ao pneu, o que levou o projeto a aumentar de escala sendo necessário fazer a simulação e validação para várias mesas estudadas. Esta proposta foi possível, aproveitando todo o desenvolvimento já existente dos objetivos iniciais.

## **1.2. GISLOTICA**

Fundada no ano 2000, a Gislotica – Mechanical Solutions Lda. é uma empresa de engenharia especializada no estudo e desenvolvimento de projetos que vão desde a logística (estudo de fluxos) às máquinas especiais. Os projetos são desenvolvidos e entregues “chave na mão” tendo como vertentes, projeto, fabrico mecânico e automação.

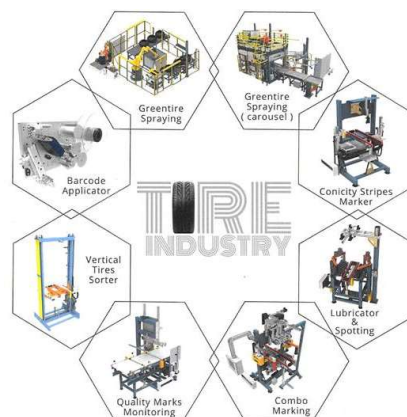
A Gislotica é líder na construção de máquinas especiais para a indústria de pneus, tendo já produzido para mais de 30 países. Neste momento encontra-se presente em vários locais, nomeadamente Portugal, Índia, China e Bielorrússia. Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** é possível observar a distribuição dos seus clientes e seus associados [1].



**Figura 1 Distribuição dos clientes e associados da Gislotica – Mechanical Solutions [1]**

De entre aplicações específicas para a indústria de pneus salienta-se os aplicadores de código de barras, lubrificação de esferas, marcação de pneus em estações de classificação de pneus, máquinas de pulverização robotizadas, sistemas de transporte entre outros [1].

A **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** apresenta alguns dos produtos mencionados anteriormente.



**Figura 2 Exemplos de máquinas criadas pela Gislotica – Mechanical Solutions [1]**

A empresa Gislotica tem como missão garantir um nível de qualidade de produtos e serviços que a identifique juntos dos clientes. Orgulha-se por ter conhecimentos técnicos, recursos e experiência para o fornecimento de soluções integradas para a indústria.

O seu objetivo a curto prazo passa por expandir a sua atividade para a manutenção industrial, aliando assim a sua experiência às necessidades dos seus clientes que têm como foco minimizar os tempos de paragem dos equipamentos, garantindo assim maior produtividade e rentabilização.

Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** são identificados os valores com os quais a Gislótica – Mechanical Solutions se identifica.

**Tabela 1 Tabela de valores da empresa Gislótica – Mechanical Solutions [2]**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Confiança                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao entregar produtos e efetuar serviços sempre com o mesmo nível de qualidade e eficiência, queremos inspirar confiança nos nossos clientes.</li> <li>• Comprometemo-nos a criar valor económico mútuo com base nessa relação de confiança a médio e longo prazo.</li> </ul>  |
| Inovação                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A inovação está no núcleo da indústria. Sabemos que a indústria automóvel está em constante crescimento e desenvolvimento, e a indústria dos pneus acompanha essa evolução.</li> <li>• Reconhecemos os riscos associados à inovação, mas focamo-nos na importância de os prever e de crescer de forma contínua e sustentável.</li> </ul>  |
| Ambição                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A nossa ambição é simples: fazemos mais e melhor para mantermos o estatuto de melhores fabricantes de máquinas nesta indústria.</li> <li>• Esta ambição é impulsionada por objetivos e metas estabelecidos com o intuito de testar limites e estimular o esforço. Olhamos para feitos passados como um degrau, não o topo.</li> </ul>   |
| Consciência Ambiental       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreendemos a fragilidade do nosso ambiente e quão importante é protegê-lo. Do total de energia utilizada pela Gislótica, 50% advém da energia solar.</li> <li>• Preocupados com o ambiente e preocupamo-nos em separar os detritos para reciclagem.</li> </ul>   |
| Eficiência                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao nos focarmos na eficiência e na concretização de projetos de grande alcance, subimos a fasquia e melhoramos dia após dia a nossa prestação no mercado. Esta eficácia, aliada à qualidade e confiança que inspiram, intensifica a nossa presença nos mercados dentro e fora da Europa.</li> </ul>   |
| Satisfação do cliente       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• O cliente é o elo que possibilita o nosso trabalho, a entidade que nos desafia a criar algo maior e mais capaz de satisfazer as suas necessidades. Valorizamos a sua satisfação, tal como a sua preferência pelos nossos serviços e produtos.</li> </ul>  |
| Sucesso através das pessoas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Na Gislótica não olhamos só para as partes interessadas externas, preocupando-nos com os nossos trabalhadores. Ao fornecer excelentes estabelecimentos, horários definidos e justos, benefícios e recompensas adequadas, procuramos manter os nossos trabalhadores felizes e satisfeitos, o que por sua vez se traduz na produtividade, eficiência e ambiente de trabalho.</li> </ul> |

### **1.3. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho centra-se no estudo e implementação de um sistema flexível de marcação de pneus com recurso a tecnologia de transferência de etiquetas por calor, LTA, de tal forma que quando o pneu estiver na posição pretendida, o sistema realize todo o trabalho sem ter a necessidade de auxílio de ferramentas externas, nem de intervenção humana. Dada a complexidade inerente a este objetivo, sentiu-se a necessidade de o subdividir em múltiplas tarefas de realização mais simples, tais como:

- desenvolvimento dos apoios do pneu;
- desenvolvimento do apoio para a ferramenta LTA;
- validação simulada das opções encontradas com recurso ao RoboGuide;
- desenvolvimento do desenho técnico. para implementação das soluções encontradas;
- implementação real das opções validadas;
- desenvolvimento da validação da QM com recurso a visão artificial;
- desenvolvimento da indicação de marcação com recurso a visão artificial;
- validação da implementação prática.

### **1.4. CALENDARIZAÇÃO**

Este projeto é proveniente de tecnologias não abordadas nas disciplinas do curso e, portanto, muito do tempo despendido neste foi de investigação. A calendarização apresentada na Tabela 2 apresenta o tempo despendido em cada tarefa, durante a realização do projeto. A tabela está numerada para a explicação de cada tarefa, que se encontra logo de seguida.

**Tabela 2 Tabela da calendarização**

| nº | outubto |   |    |    | novembro |   |    |    | dezembro |   |    |    | janeiro |    |   |    | fevereiro |    |   |    | março |    |   |    | abril |    |   |   | maio |    |    |   | junho |    |    |   | julho |    |    |   |   |  |  |
|----|---------|---|----|----|----------|---|----|----|----------|---|----|----|---------|----|---|----|-----------|----|---|----|-------|----|---|----|-------|----|---|---|------|----|----|---|-------|----|----|---|-------|----|----|---|---|--|--|
|    | 1       | 8 | 15 | 22 | 29       | 5 | 12 | 19 | 26       | 3 | 10 | 17 | 24      | 31 | 7 | 14 | 21        | 28 | 4 | 11 | 18    | 25 | 4 | 11 | 18    | 25 | 1 | 8 | 15   | 22 | 29 | 6 | 13    | 20 | 27 | 3 | 10    | 17 | 24 | 1 | 8 |  |  |
| 1  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 2  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 3  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 4  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 5  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 6  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 7  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 8  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 9  |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 10 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 11 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 12 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 13 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 14 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 15 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 16 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 17 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 18 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 19 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 20 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 21 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |
| 22 |         |   |    |    |          |   |    |    |          |   |    |    |         |    |   |    |           |    |   |    |       |    |   |    |       |    |   |   |      |    |    |   |       |    |    |   |       |    |    |   |   |  |  |

1. estudo do tipo de marcação, LTA;
2. estudo do pneu;
3. estudo das máquinas existentes no mercado para o efeito do projeto a realizar;
4. estudo e validação do alcance do robô para diferentes orientações do pneu;
5. estudo e desenvolvimento dos apoios para o pneu;
6. estudo e desenvolvimento do apoio para a ferramenta KBA;
7. estudo e escolha do sistema de troca de ferramenta;
8. simulação e validação das opções encontradas com recurso ao RoboGuide;
9. validação da flexibilidade e segurança dos materiais a utilizar;
10. melhoramentos do desenho técnico da ferramenta de apoio ao KBA;
11. simulação e validação das opções encontradas com recurso ao RoboGuide;
12. desenvolvimento do programa para o robô com recurso ao RoboGuide;
13. implementação da comunicação PROFINET entre o robô e os controladores lógicos programáveis, PLC;
14. estudo dos conceitos e métodos de visão artificial;
15. desenvolvimento da validação da QM com recurso a visão artificial;
16. desenvolvimento da indicação de marcação com recurso a visão artificial;

17. implementação prática do *hardware* do projeto;
18. implementação e validação da visão artificial;
19. implementação e validação prática da mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô;
20. implementação e validação da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo;
21. implementação e validação da mesa do pneu deitado;
22. elaboração do relatório.

## **1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO**

Este relatório está dividido em sete capítulos, e respectivas secções, para uma organização mais adequada e fácil leitura.

Neste capítulo foi feita uma breve contextualização do projeto, uma introdução à empresa Gislotica, os objetivos a alcançar, a calendarização das etapas traçadas e por fim, uma breve explicação da organização do documento.

No segundo capítulo são explicados os conceitos teóricos necessários para a compreensão do trabalho, tais como, a constituição de um pneu, as marcas existentes no pneu, onde deve ser realizada a marcação das QM e os tipos de marcação aceites. É abordado o tema da robótica industrial com uma pequena introdução, a sua aplicação no mundo atual, as suas vantagens e desvantagens, a sua arquitetura/estrutura e uma breve explicação de simulação e programação de um robô. É também explicada a troca de ferramenta, a ferramenta de marcação, a comunicação PROFINET e a visão artificial, tendo em conta as suas etapas de processamento, os componentes necessários desde a sua captura até ao *output* da informação e exemplos de aplicações.

No terceiro capítulo é explicado o estado da arte do projeto, abordando as aplicações de automação na indústria de pneus, soluções de robótica para a indústria de pneus e soluções particulares para a resolução de problema.

No quarto capítulo analisa-se a arquitetura da solução, bem como as suas funcionalidades.



No quinto capítulo é descrita toda a parte prática do trabalho desenvolvido, desenvolvimento do *hardware* mecânico da garra, desenvolvimento do *software*, tanto do robô como do PLC, e respetivo *hardware*, e o desenvolvimento do sistema de visão artificial.

O Capítulo 6 apresenta todos os testes e resultados do projeto elaborado.

Por último, o Capítulo 7 apresenta as conclusões do projeto, ideias para desenvolvimentos futuros e uma breve conclusão pessoal.

## 2. CONCEITOS TEÓRICOS

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos essenciais para a compreensão do restante relatório. Inicialmente, e com grande ênfase, é explicada a constituição de um pneu, as suas respetivas marcas, bem como as suas marcações QM, local onde deve ser marcado, tipos de símbolos e em que condições os símbolos são aceites.

De seguida é explicada a robótica industrial, a troca de ferramenta, a ferramenta de marcação e o protocolo PROFINET. Também é realizada uma introdução à visão artificial, uma vez que é uma das tecnologias usadas no projeto.

### 2.1. PNEU

O pneu é um componente que é incluído no sistema de suspensão de um veículo e é fundamental na tração do automóvel, uma vez que é o único que realiza contacto direto entre o automóvel e o piso. É também responsável por absorver irregularidades do piso e manter o veículo estável.

O pneu é um produto complexo e de alta tecnologia, tendo uma grande variedade de componentes e de diferentes matérias-primas, bem como diferentes composições de borracha no mesmo pneu.

### 2.1.1. CONSTITUIÇÃO DE UM PNEU

O pneu tem uma estrutura de oito camadas diferentes, como se verifica na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** [3].



Figura 3 Componentes de um pneu [3]

O número 1 representa o revestimento de borracha interior, composto por borracha sintética, funcionando como câmara-de-ar.

O número 2 é chamado de carcaça, cujo objetivo é suportar a carga e a velocidade com ajuda da pressão e, ainda, participar no rendimento e eficiência do pneu. É composto por inúmeros filamentos flexíveis, têxteis ou de aço, que formam arcos retos e se enrolam no aro do talão do pneu.

O número 3 é denominado por zona baixa, e a sua função é transmitir o binário do motor da jante para a zona de contacto com o solo.

O número 4 é denominado de aro de talão, e tem como função fixar o pneu à jante, realizar a estanquicidade do pneu e transmitir o binário do motor da jante para o pneu. É composto por um filamento de aço inextensível e é variável em forma e proporção segundo a dimensão e tipo do pneu.

O número 5 é chamado de flanco, cuja função é o suporte da carga e das constantes flexões mecânicas, resistência aos atritos e agressões e participar na estabilidade e no conforto.

Os números 6 e 7 designam-se como lonas de topo e apresentam uma função muito complexa, dado que têm de ser bastante rígidas no sentido circunferencial do pneu de modo a não se estenderem sob o efeito da centrifugação e de forma a controlarem perfeitamente o

diâmetro do pneu, independentemente das condições de utilização. Para além disso, têm, por um lado, de ser rígidas em sentido transversal para resistir aos esforços de deriva, mas, por outro lado, necessitam de ser muito flexíveis em sentido vertical para absorver o obstáculo. Estas são constituídas por filamentos metálicos revestidos de borracha.

O número 8 é denominado de piso, e tem como objetivo proporcionar a aderência em solo seco e molhado, ter resistência e duração ao desgaste e agressões, participar na baixa resistência ao deslocamento, participar no conforto acústico, sonoridade no deslocamento e participar no direcionamento e manobrabilidade do veículo. É composto por uma camada de borracha, na qual existe uma série de ranhuras, que dão origem ao piso ou escultura.

### 2.1.2. MARCAÇÕES NO FLANCO DO PNEU

Durante a sua produção, os pneus são identificados com um código de barras, enquanto que na sua montagem com a jante, é realizada uma identificação da excentricidade com símbolos de diferentes cores e, por fim, é incluída uma identificação para o consumidor.

A Figura 4 demonstra toda a informação que um pneu é capaz de conter. De seguida é explicada a numeração desta figura [4].



Figura 4 Marcações laterais de um pneu [4]

- 1- nome do fabricante do pneu;
- 2- número de camadas, tipo de carcaça e tipo de lonas de topo;
- 3- informações da montagem do pneu;
- 4- nome comercial do pneu;
- 5- aviso de segurança:

- a. pode também ser encontrada informação com símbolos como, por exemplo, nos pneus de neve, Figura 5.



Figura 5 Exemplos de símbolos de segurança [4]

- 6- código DOT em conformidade com os requisitos da norma dos Estados Unidos da América (EUA);
- 7- indicação se o pneu consegue ser dirigido completamente vazio, sem risco de um acidente;
- 8- indica a data de produção: os dois primeiros dígitos indicam a semana e os próximos dígitos indicam o ano;
- 9- homologação da União Europeia;
- 10- número de homologação;
- 11- classificação de qualidade de acordo com a *Uniform Tire Quality Grading*, UTQG (EUA);
- 12- indica se o pneu usa ou não câmara de ar;
- 13- indica se o pneu aguenta carga extra ou não;
- 14- indica a largura do pneu em milímetros e a medida entre as paredes laterais externas;
- 15- indica a relação entre a altura e a largura, perfil em percentagem;
- 16- indica o tipo de construção e o diâmetro da roda, isto é, o raio onde o pneu pode ser fixado;
- 17- indica o índice de carga e o índice de velocidade;
- 18- informação de montagem do pneu. Indica se o símbolo tem de estar virado para fora ou para dentro do veículo;
- 19- país de fabricação do pneu;
- 20- indica também se os pneus são de neve ou não;
- 21- indica a carga máxima permitida e a pressão máxima permitida.

Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** é possível observar o código de barras que acompanha o pneu durante a sua produção. Este funciona como a identidade do pneu, transportando toda a informação necessária do mesmo. Para além disso, tem uma função importante em algumas áreas, como por exemplo na marcação dos símbolos, servindo assim como referencial.



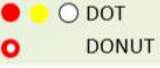


**Figura 6** Etiqueta de código de barras num pneu [5]

### **2.1.3. MARCAÇÃO DAS QM**

Como o fabrico do pneu não está isento de erros, no controlo de qualidade é tido em conta a geometria e a distribuição da massa relativamente aos eixos referenciais.

O tipo de marcação, bem como as especificações de marcação, são definidas pelo cliente. Normalmente estas podem ser no ponto mais alto ou mais baixo do harmónico da força radial, 1º ou 2º harmónico, a cor da marcação pode ser branca, amarela ou vermelha, com o símbolo “Donut” ou um círculo todo preenchido. Também existe indicação da conicidade, o símbolo “P” ou “PP” caso seja positiva ou o símbolo “N” ou “NN” caso seja negativa. Na Tabela 3 estão demonstrados os requisitos de marcação explicados anteriormente.

**Tabela 3 Capacidade de atuação do marcador [1]**

| Technical Features |   |
|--------------------|---|
| Top/Bottom Camera  | Teledyne Dalsa Piranha4 Color 8k, 50 kHz  |
| Acquisition Board  | Teledyne Dalsa x64 xcelera cl PX4 full  |
| Fov                | 1x1 m <sup>2</sup>  |
| Resolution         | <1mm  |
| Rfh1 Mark *        | LTA / Inkjet<br>   |
| Rhhp Label         | Sticker<br>  |
| Conicity Marks*    | Inkjet<br>   |
| Colors Detected*   | Red/Yellow/White  |
| Lateral Camera     | Teledyne Dalsa Genie C1600  |
| Shapes Detected    | Thick lines   |
| Size Detected      | 4 mm (minimum)  |
| Colors Detected*   | Red/Green/White   |
| Communication      | OPC server  |
| Results            | Mark Type<br>Mark Color<br>Mark Size (mm)<br>Mark Position (relative to tire center/barcode) (deg.)<br>Mark Filled Area (%)<br>Squint Angle (deg.) (only for RHHP Label and Conicity Letters) |
| Results Length**   | 5 Marks Top Sidewall<br>5 Marks Bottom Sidewall<br>5 Marks Tread Right Side<br>5 Marks Tread Left Side  |




\* Others marks, colours, letters upon request.

\*\* Data amount can be customized upon request.

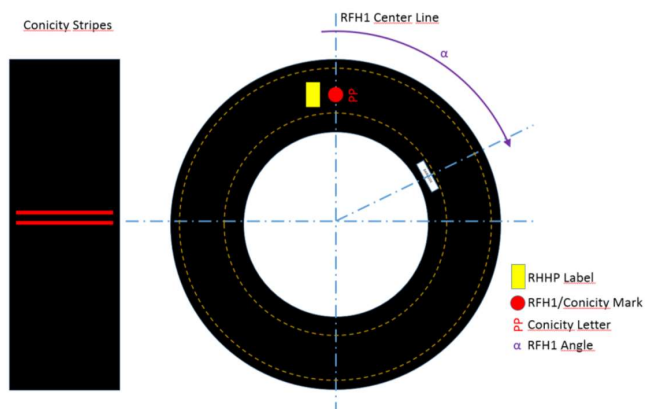
Estas marcações são importantes na montagem do pneu uma vez que irão permitir a sua correta montagem com a jante, minimizando assim a excentricidade do conjunto, isto é, o conjunto torna-se mais equilibrado proporcionando ao veículo uma maior estabilidade. Uma outra vantagem desta montagem é a diminuição de pesos adicionais.

O acoplamento do pneu com a jante é automatizado, tem recurso à visão artificial na montagem para detetar qual o símbolo, bem como a sua posição. Para não ocorrerem erros o símbolo tem de ser bem marcado. Na Tabela 4 está demonstrado o tipo de marcação, a descrição, exemplos, critérios e o resultado da inspeção.

**Tabela 4 Tabela dos resultados individuais da marcação [6]**

| <b>Grupo</b>     | <b>Descrição</b>                           | <b>Exemplo</b>   | <b>Resultado</b> |
|------------------|--|--|------------------|
| Tamanho          | Marcação do QM com o tamanho correto       |    | Válido           |
| Cor              | Marcação da cor correta                    |    | Válido           |
| Tipo de Marcação | Distinção entre marcas.                    |    | Válido           |
| LTA incompleto   | Marcas parcialmente removidas              |   | Inválido         |
| Dupla marcação   | Pneu marcado duas vezes com pouca precisão |  | Inválido         |

Na Figura 7 é possível observar um exemplo da marcação de um símbolo em relação à origem, o código de barras. O símbolo  $\alpha$  representa o ângulo de marcação calculado pelas máquinas de uniformidades.



**Figura 7 Marcação de símbolos relativamente à origem [6]**



A marcação nos pneus pode ser realizada em ambos os lados ou podem existir várias marcações no mesmo lado.

## **2.2. ROBÓTICA INDUSTRIAL**

A palavra robótica surge da palavra checa *robota*, que significa trabalho escravo ou trabalho forçado, utilizada por Karel Capek numa peça de teatro. Mais tarde, no livro “Runaround”, Isaac Asimov abordou a robótica novamente, e enunciou as três primeiras leis da robótica [7]:

- 1- um robô não pode fazer mal a um humano e nem, por inação, permitir que algo lhe aconteça;
- 2- um robô deve obedecer às ordens dos humanos, exceto quando tal contraria a primeira lei;
- 3- um robô deve proteger a sua integridade física, desde que isso não contraria as duas leis anteriores.

A lei zero foi introduzida mais tarde pelo mesmo escritor, que diz:

- 0- um robô não pode fazer mal à humanidade e nem, por inação, permitir que ela sofra algum mal.

Atualmente não existe uma definição universal para robô ou robótica; no entanto, existem entidades que têm a sua própria definição. Segundo a *Robotic Industries Association* (RIA), um robô trata-se de um manipulador reprogramável e multifuncional concebido para movimentar materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos variáveis programados, com a finalidade de desempenhar várias tarefas [8].

### **2.2.1. ATUALIDADE DA ROBÓTICA**

Na área da indústria os robôs inicialmente eram utilizados em processos de soldadura e transporte de material. Com a evolução nas décadas seguintes e a obtenção de bons resultados, ocorreu a expansão para novas áreas, tais como a área de maquinagem, área de acabamentos e área de polimentos [9].

Os robôs mais utilizados na atualidade são os robôs manipuladores, os veículos autoguiados (AGV) e os robôs móveis [10].

Os robôs colaborativos são outro tipo de robôs que têm vindo a aumentar nas empresas. Este aumento deve-se à capacidade do envolvimento do robô com o humano durante o trabalho, sem necessidade de barreiras entre eles [11].

### **2.2.2. VANTAGENS/DESVANTAGENS NA UTILIZAÇÃO DE ROBÔS**

A utilização dos robôs tem inúmeras vantagens, tanto a nível técnico como económico e sociológico.

No fator técnico a vantagem centra-se principalmente na colmatação das capacidades humanas, mas também traz vantagens na flexibilidade de gama de produtos capazes de manufaturar e na melhoria dos índices de qualidade.

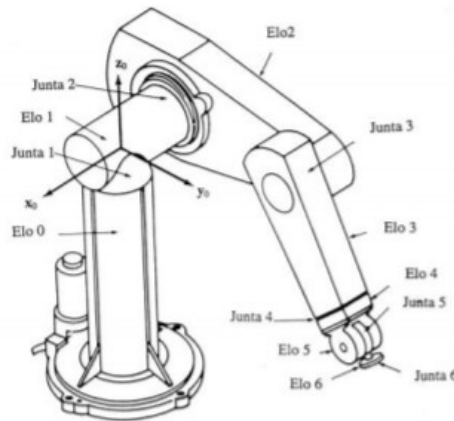
Já no fator económico a vantagem está na capacidade de utilizar o mesmo equipamento em variadas funções e da facilidade de reprogramação. Desta forma, o retorno do investimento é elevado, uma vez que a utilização é eficiente e intensiva, aumentando assim a produtividade.

Por fim, no fator sociológico a vantagem é no afastamento dos operários de tarefas pesadas e repetitivas, em locais prejudiciais para a saúde e na redução do número de acidentes.

Contudo, sabe-se que a utilização dos robôs pode causar a diminuição de empregos fabris, devido à redução do número de atividades nas empresas para os operários.

### **2.2.3. ARQUITETURA/ESTRUTURA DE ROBÔS INDUSTRIAIS**

Um robô industrial é vulgarmente associado a um robô articulado e consiste numa sequência de elos interligados por juntas, com semelhanças a um braço humano. Cada junta permite fazer um movimento, angular ou linear, como é possível verificar na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Cada par junta – elo constitui um grau de liberdade, a designação do robô é dada pelos graus de liberdade [7].



**Figura 8** Típico robô industrial [7]

De acordo com a *International Federation of Robotics* (IFR) os robôs industriais podem ser classificados segundo a sua estrutura mecânica, existindo sete classes de robôs industriais. De seguida, são apresentados os respetivos nomes e o principal aspeto quanto à sua configuração [7]:

- robôs lineares – possuem três juntas prismáticas;
- robôs cilíndricos – possuem duas juntas prismáticas e uma junta de rotação;
- robôs esféricos ou polares – possuem duas juntas de rotação e uma junta prismática;
- robô articulado – possuem três juntas de rotação;
- robô *SCARA* – duas juntas rotacionais, articuladas horizontalmente, e uma junta prismática;
- robô *spine* – é totalmente compacto e flexível, envolvido numa manga protetora e um tipo especial de rotulas “ovoides” interligadas por cabos de aço tensionados;
- robôs paralelos – normalmente têm as juntas todas iguais, mas podem ter variantes de juntas prismáticas com rotacionais.

#### **2.2.4. TERMINOLOGIA NA ROBÓTICA**

Para uma correta utilização da terminologia robótica é importante definir alguns conceitos. O volume de trabalho é toda a zona ou posições que o robô consegue alcançar com a sua ferramenta final, enquanto o espaço morto designa os pontos que o robô não consegue alcançar com a sua ferramenta final.

A capacidade de carga é uma especificação definida pelo fabricante que se encontra no manual do modelo. Existe a capacidade de carga nominal, que é referente à carga máxima à velocidade máxima e sem perda de precisão. Existe também a carga máxima, referente à carga máxima a uma velocidade reduzida sem perda de precisão.

A precisão de um sistema é a capacidade que este tem de se colocar num ponto pré-definido no volume de trabalho. Desta maneira, quanto menor for a discrepância entre o ponto efetivo e o ponto desejado, maior é a precisão.

A repetibilidade de um sistema é referente à variação dos resultados nas mesmas condições. Diz-se que um sistema é de boa repetibilidade, quando existe pouca variação entre um conjunto de pontos realizados nas mesmas condições.

A resolução do sistema é a menor resolução da junta, valor incremental da junta.

A velocidade de operação é a velocidade com que o manipulador executa a tarefa pré-determinada e inclui o tempo de desaceleração e aceleração.

## **2.2.5. SIMULAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS**

Os sistemas de programação de robôs estão em constante evolução com o objetivo de gerar um programa de controlo de forma a facilitar o uso ao utilizador.

O programa é uma sequência de localizações (*targets*) no espaço (trajetória – *path*) que o robô tem de percorrer com uma determinada orientação, velocidade e aceleração. Existem particularidades na programação, tais como, a geração dos movimentos complexos do robô, uma vez que é difícil o ser humano imaginá-los. Além disso, também possibilita a integração de sinais provenientes de sensores. Durante a programação existe a capacidade de sincronizar os robôs e/ou outros dispositivos periféricos.

A programação dos robôs pode ser dividida nas seguintes categorias: quanto à necessidade de utilizar o robô para efetuar a sua programação que pode ser pelo método de programação *online* ou *offline* ou quanto ao tipo de programação que pode ser explícita ou implícita [12].

### **Programação *online***

A programação *online* envolve diretamente o próprio robô, a sua atividade principal é a definição de trajetórias, é utilizado o próprio robô para efetuar a sua programação, na linha

de produção. Também é designada de *leadthrough programing*, pode ser manual ou automática.

No modo manual, o utilizador leva o robô às posições que pretende memorizar manualmente, como por exemplo, em robôs afetos a tarefas de pintura, enquanto que no modo automático, o utilizador leva o robô às posições que pretende memorizar utilizando um *tech-pendant*, como por exemplo, em aplicações de *pick and place*.

A vantagem principal deste método de programação é a fácil aprendizagem e simplicidade de realizar a mesma.

A desvantagem mais significativa é a necessidade de utilizar o robô para a programação, o que implica a paragem da célula em que se encontra o robô, existindo consequentemente, a perda de produtividade [12].

### **Programação *offline***

Durante a programação *offline* não é necessária a utilização do robô, uma vez que é cada vez mais utilizada, especialmente para aplicações complexas e aplicações que exigem longos tempos de desenvolvimento dos programas.

Existe a programação *offline* textual, é extremamente difícil para o operador conhecer com precisão as coordenadas dos pontos para onde o robô se deve deslocar. Para facilitar e simplificar ainda mais a programação *offline*, existe o apoio de sistemas de simulação gráfica. A principal tarefa de um sistema de simulação num sistema de programação *offline* é testar e verificar os programas criados *offline* e simular a deteção de erros nestes mesmos programas.

A simulação e programação *offline* a nível industrial tem vantagens importantes, como disponibilizar informação precisa desde o início do projeto, por exemplo, a configuração do *layout*. As soluções são rapidamente desenvolvidas e comparadas com diversas soluções alternativas, resultando numa melhoria decisiva da qualidade da solução. O programador tem segurança acrescida uma vez que não trabalha na proximidade do robô. A poupança de custos também é notória uma vez que os custos para testes de oficina e alterações subsequentes dos sistemas são reduzidos [12].

## **2.3. TROCA DE FERRAMENTA**

Os processos automatizados ou semi-automatizados ganham cada vez mais importância no âmbito da industrialização, resultante da crescente robotização nos sistemas de produção.

A realização da troca de ferramenta e outros atuadores é um processo apropriado para os robôs que têm como efeitos finais executar diferentes tarefas, podendo ir desde a troca de uma ferramenta de acabamento até uma pistola de soldadura.

A troca de ferramenta é composta por duas partes, uma acoplada no robô e outra acoplada nas ferramentas. A união das placas é realizada por um mecanismo de bloqueio de esferas acionado pneumáticamente, sendo este também um mecanismo contra falhas. Existe a possibilidade de passagem de conexões pneumáticas, elétricas, entre outras, do robô para a garra, através da troca de ferramenta [13].

As trocas automáticas de ferramenta oferecem flexibilidade ao obter a capacidade de utilizar mais do que uma ferramenta para o mesmo robô, sem que este necessite de intervenção humana. Para além disso, oferece também segurança, uma vez que impede a separação das placas em caso de falhas [13]. A possibilidade de alterar a ferramenta em segundos e realizar a manutenção ou reparação nas ferramentas em repouso, mantém a linha de produção em funcionamento mais tempo, aumentando assim o tempo de atividade. Desta forma a segurança é cumprida, uma vez que as ferramentas são trocadas sem intervenção humana. No entanto, as ferramentas exigem o aumento do espaço da célula, uma vez que é necessário colocar todas as garras no alcance do robô [14].

Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** está ilustrado um exemplo da troca de ferramenta. Na parte de cima da imagem está a placa que é acoplada ao robô e na parte de baixo da imagem está a placa que está acoplada nas ferramentas. É ainda possível observar uma extensão para conexões elétricas acoplada do lado direito de ambas as placas [15].



**Figura 9 Troca de ferramenta com extensão para conexões elétricas [15]**

## 2.4. FERRAMENTA DE MARCAÇÃO

O material alvo para a aplicação das QM é a borracha vulcanizada natural ou sintética. A textura da superfície pode ser lisa, áspera ou texturizada e pode conter até 1 mm de relevo. Esta marcação será realizada com uma ferramenta específica, denominada hpdSYSTEM modelo Moto, KBA, ilustrada na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, imposta pelo cliente. A sua marcação é realizada por transferência térmica, com uma temperatura a variar entre os 50 graus e os 200 graus, com duração entre os 0,5 segundos e os 2 segundos. A pressão de marcação é de 580 N, 6 bar. Este equipamento tem como requisitos elétricos 24 V DC, 125 VA, com tolerância de 10 % [16][17].



Figura 10 Imagem da ferramenta de marcação [17]

O sistema apresentado tem vários *layouts* de impressão possíveis por máquina, mas apenas uma cor. Normalmente são usadas 4 cores padrão: branco, amarelo, vermelho e verde.

## 2.5. COMUNICAÇÃO PROFINET

O protocolo PROFINET é um mecanismo de troca de dados entre controladores e dispositivos e pode ser usado para praticamente qualquer função necessária em automação tais como: processo, movimento, integração ponto a ponto, integração vertical, segurança, entre outros [18][19]. O sistema de transmissão e de conexão pode ser usado pela tecnologia baseada em fios de cobre e em fibra ótica, conforme a norma 8802-3, e ainda, comunicar via *wireless*, conforme a norma IEEE 802.11 a/b & g [20].

Os principais benefícios desta comunicação são: a redução dos custos de integração do sistema, a minimização do tempo de comissionamento, o fornecimento de dados em tempo

real e a melhoria dos processos de manutenção, como por exemplo, acesso direto ao diagnóstico do equipamento [21].

A comunicação em tempo real pode ser escalonável, consoante o tempo de comunicação pode ser, por um lado, pouco crítico, como por exemplo numa interface homem-máquina, HMI, e por outro lado, bastante crítico, como por exemplo o controlo de um motor. Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** é possível observar os dados do processo em relação ao tempo despendido para o mesmo [20]. Em aplicações de controlo de movimento, o PROFINET pode controlar até 150 eixos de movimento num milissegundo e pode conter um microssegundo de *jitter* [18][19].

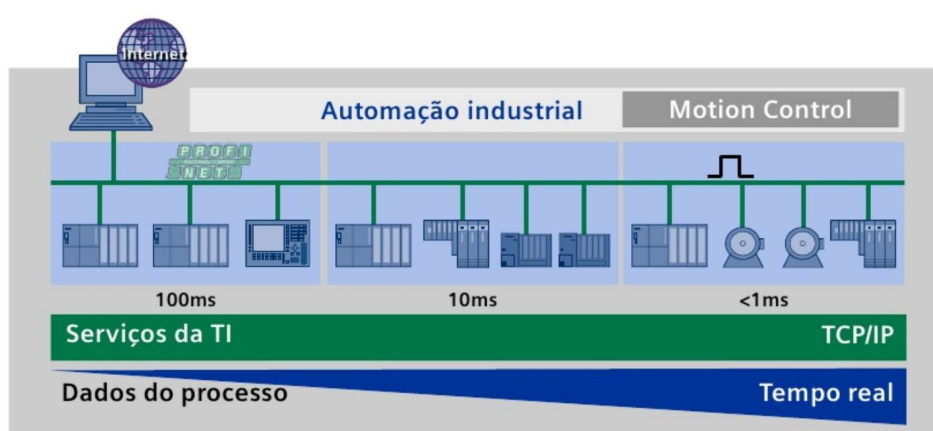
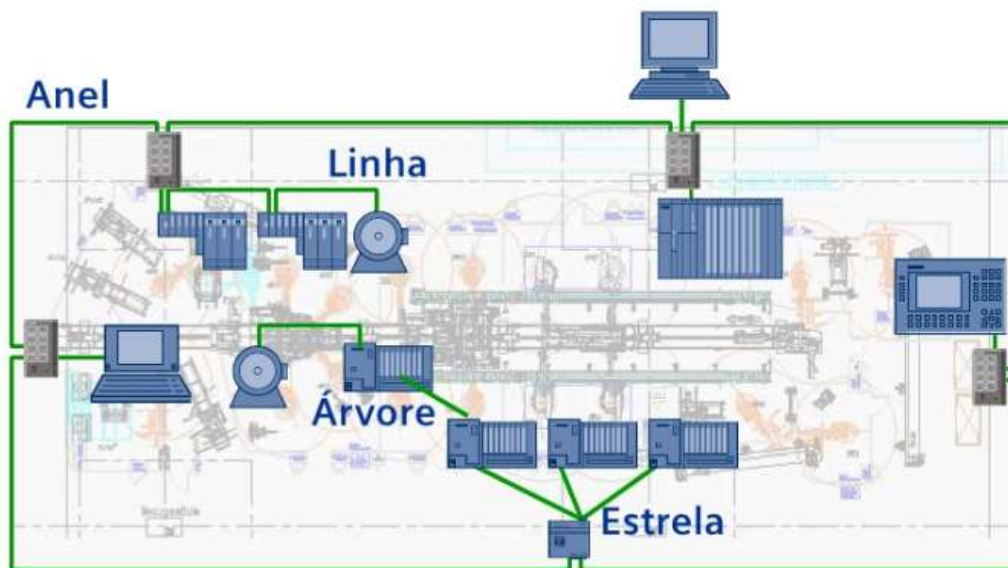


Figura 11 PROFINET comunicação em tempo real [20]

Como se verifica na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, é possível utilizar todas as estruturas de montagem. A estrutura em anel tem a particularidade de garantir a alta disponibilidade do sistema e a estrutura em linha minimiza os custos de cablagem [20].





**Figura 12 Topologias da comunicação PROFINET [20]**

A segurança deste protocolo é eficaz e certificada no combate contra a alocação errada de endereços, no acesso não autorizado e na espionagem. Normalmente, o módulo de segurança tem duas portas: uma porta para a conexão do dispositivo ou segmento de rede a ser assegurado ou para autenticação pelo módulo de segurança. Uma segunda porta, para a conexão da rede “não protegida” ou para os túneis da rede privada virtual, VPN, para os outros módulos de segurança [20].

## **2.6. VISÃO ARTIFICIAL**

A evolução das indústrias, o aumento da capacidade de produção, a rigidez das normas regulamentadoras da garantia da qualidade dos produtos e o aumento da exigência do consumidor, encaminhou a indústria a necessitar de utilizar novas tecnologias para auxílio e aumento da qualidade/produtividade. A visão artificial surgiu como uma excelente ferramenta para tornar esses processos de análise mais automáticos, rápidos e eficientes [22].

A missão da visão artificial é solucionar os diferentes problemas que podem surgir dentro de um processo de produção em qualquer modelo de negócio. A resolução destes problemas procura imitar a cognição humana e a capacidade do ser humano em tomar decisões de acordo com as informações contidas na imagem. No entanto, a ordem dos passos a serem realizados durante o processamento e análise de imagens, é muitas vezes, realizado por um operador humano que detém o conhecimento ou a experiência sobre o domínio da aplicação.

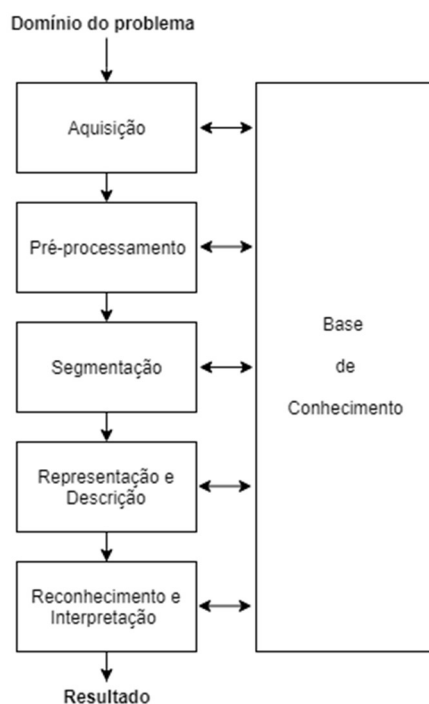
As tarefas envolvidas em visão artificial normalmente estão simplificadas em dois níveis de abstração: processamento de imagens (baixo nível) e análise de imagens (alto nível).

O conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio de uma unidade de processamento consiste no processamento digital de imagens. Estas técnicas permitem extrair e identificar informações das imagens e melhorar a qualidade visual de certos aspetos estruturais, facilitando assim a perceção humana e a interpretação automática por meio de máquinas. Este método envolve operações como o aumento do contraste, a redução do ruído, a extração de bordas e a compressão de imagens [22][23].

A análise de imagens é o conjunto de técnicas que se baseiam na forma, na textura, nos níveis de cinza ou nas cores dos objetos presentes nas imagens e é tipicamente de alto nível de abstração. Contudo, a análise de imagens tem algumas dificuldades inerentes. O seu carácter multidisciplinar, o domínio do conhecimento em geometria computacional, visualização científica, estatística, teoria da informação e muitos outros, são necessários para solucionar satisfatoriamente os problemas que poderão surgir. Este método envolve tarefas como, por exemplo, a segmentação da imagem em regiões ou objetos de interesse, descrição desses objetos de modo a reduzi-los a uma forma mais apropriada para representar o conteúdo da imagem e reconhecimento ou classificação desses objetos [22][23].

#### **2.6.1. ETAPAS DE UM SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM**

Um sistema de processamento digital de imagens é constituído por um conjunto de etapas, demonstrado no diagrama da **Erro! Marcador não definido. Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, capazes de produzir um resultado a partir de um domínio do problema.



**Figura 13** Etapas de um sistema de processamento de imagens [22]

A etapa de aquisição tem como objetivo capturar a imagem, através de um dispositivo ou sensor e convertê-la numa representação adequada para o processamento digital. Os principais dispositivos para aquisição de imagens são câmaras de vídeo, tomógrafos médicos, satélites e *scanners* [22][23].

A etapa de pré-processamento visa melhorar a qualidade da imagem por meio da aplicação de técnicas para atenuação de ruído, correção de contraste ou brilho e suavização de determinadas propriedades da imagem, uma vez que a imagem digital resultante do processo de aquisição pode apresentar imperfeições ou degradações, devido às condições de iluminação ou às características dos dispositivos [22].

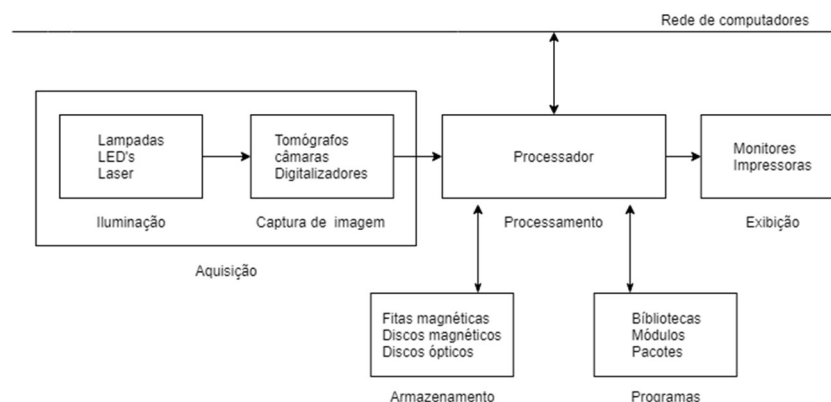
A etapa de segmentação identifica e extrai as áreas de interesse contidas na imagem, isto é, baseia-se na detecção de descontinuidade, bordas ou similaridades (regiões) da imagem.

A quarta etapa é composta por dois processos: o processo de representação e o processo de descrição. Enquanto que o processo de representação tem como objetivo ser utilizado para armazenar e manipular os objetos de interesse extraídos da imagem, o processo de descrição foca-se na extração de características ou propriedades que possam ser utilizadas na descrição entre classes de objetos. Essas características ou propriedades são, em geral, descritas por atributos numéricos que formam um vetor de características.

A última etapa tem como processo o reconhecimento e a interpretação dos componentes de uma imagem. O processo de reconhecimento é o que atribui um identificador ou um rótulo aos objetos da imagem, baseado nas características fornecidas pelos seus descritores. Por fim, o processo de interpretação consiste em atribuir um significado ao conjunto de objetos reconhecidos. Um exemplo deste processo é no auxílio a diagnósticos, como o de anemias através da contagem automática das células numa amostra de sangue, com o reconhecimento dos contornos das células [22].

## 2.6.2. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE PROCESSO DE IMAGEM

Todos os componentes desempenham um papel importante num sistema de processamento de imagens. Os componentes ilustrados no diagrama seguinte, apresentado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, são responsáveis pela aquisição do sinal, pelo seu processamento e pela sua exibição.



**Figura 14 Componentes de um sistema de captura de imagem**

No que toca à etapa de aquisição, existe o processo de iluminação e o de captura da imagem. O processo de iluminação é bastante importante, uma vez que a incorreta configuração da iluminação pode provocar falta de informação da imagem capturada, levando assim a uma análise posterior muito mais difícil, ou até mesmo impossível, já que nenhum algoritmo de análise pode recuperar informações que nunca foram capturadas.

Entre a iluminação e a captura da imagem podem existir acessórios que ajudem a realçar o que se pretende retirar do objeto, como por exemplo filtros coloridos ou polarizadores. Estes conseguem alterar drasticamente o carácter da luz que entra na lente, tais como, restrições de

certos comprimentos de onda, polarização da luz ou, até mesmo, uma simples proteção da superfície da lente [23].

No processo de captura os dispositivos apresentam características bem diferentes em termos de resolução espacial, velocidade de operação, precisão e custo. A unidade de processamento pode variar conforme o nível de desempenho requerido pela aplicação. Deste modo, determinadas tarefas podem precisar de alto desempenho, como por exemplo a detecção de objetos em tempo real. No entanto, muitos sistemas de processamento de imagens podem ser atualmente executados em microcontroladores convencionais [22][23].

Para auxiliar o processamento, recorre-se ao armazenamento e a programas. O tipo de armazenamento é bastante importante uma vez que uma simples imagem colorida de  $1024 \times 1024$  pixel (24 bits por pixel) requer 3 Mbytes para armazenamento, sem compressão. É ainda importante o rápido acesso às imagens, como por exemplo no tratamento de imagens em tempo real. Uma possibilidade de armazenamento temporário é por meio da memória principal do computador. Outra opção consiste no uso de placas gráficas especializadas, *frame buffers*, que armazenam uma ou mais imagens, permitindo assim o rápido acesso. O armazenamento também pode ser feito em discos magnéticos, aumentando drasticamente a capacidade de memória de armazenamento. Os programas para o processamento de imagens consistem em rotinas ou módulos específicos para realizar uma determinada tarefa. As bibliotecas podem ser integradas em códigos desenvolvidos pelos programadores ou em pacotes de processamento de imagens.

As exibições de imagens podem ser realizadas através de monitores de vídeo ou de diversas formas de passagem da imagem para o papel. Os monitores estão em constante desenvolvimento e, desta forma, podem ser monitores de tubos de raios catódicos, monitores de cristal líquido, monitores de plasma, entre outros, sendo que cada monitor tem as suas características, relativamente à nitidez da amostra da imagem. A passagem da amostra para o papel também pode ser realizada de várias maneiras, como por exemplo, a reprodução fotográfica, papel sensível à temperatura, impressoras térmicas coloridas, entre outras [22].

### **2.6.3. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES**

As aplicações em que é possível aplicar a visão artificial são cada vez maiores, sendo uma tecnologia em constante evolução. Alguns exemplos dos domínios em que são usadas

imagens para resolver problemas são a medicina, biologia, área militar, segurança e vigilância, artes, entre outros.

Nas artes ou na arqueologia, a visão artificial tem beneficiado muitas áreas, como por exemplo, o restauro de artefactos raros, pinturas e documentos antigos, criação de museus virtuais, etc.

Relativamente à automação industrial, existem benefícios nas mais diversas áreas, desde a separação dos objetos por cores, por tamanhos, etc. Na montagem de objetos, a visão artificial ajuda a detetar o local das peças e a orientação desejada. No controlo de qualidade pode ser tido em conta os parâmetros considerados bons ou maus para a avaliação do objeto, e posterior classificação do mesmo.

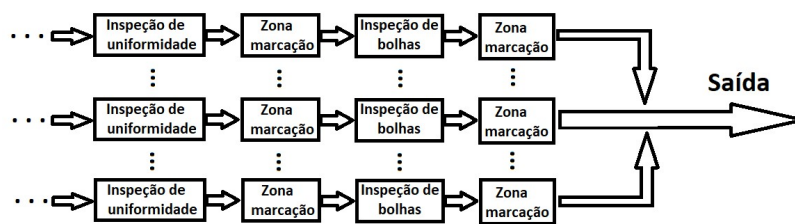


### 3. APLICAÇÕES DE AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PNEUS

As linhas de montagem advêm principalmente de um empreendedor chamado Henry Ford, uma vez que obteve sucesso na produção do modelo Ford T. As técnicas de fabrico que desenvolveu definiram o processo industrial, dando assim origem ao Fordismo [1]. Ao longo do século XX, foram várias as inovações e aperfeiçoamentos que marcaram a época e contribuíram com o aumento da eficiência da fabricação.

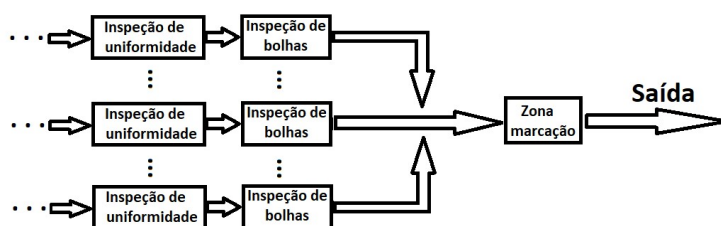
O fordismo foi explorado por outras áreas, como por exemplo na indústria dos pneus. A zona de marcação do local de qualidade era em linhas de montagem descentralizadas, como se pode observar na Figura 15. Cada zona de marcação ilustrada tinha uma ferramenta de marcação capaz de marcar vários tipos de símbolos, mas todos da mesma cor.





**Figura 15 Linha descentralizada na zona de qualidade**

Com o aparecimento da automação e dos robôs, o homem passou a ser substituído em atividades demoradas, pesadas e que exigiam precisão [2]. Com o avançar da tecnologia e a alta competitividade dos concorrentes, as fábricas necessitavam de reduzir custos de fabrico e, para tal, eram selecionados métodos de centralizar as linhas de produção, sendo a zona de qualidade uma das afetadas, como é possível observar na Figura 16. Geralmente, a zona de qualidade/marcação é única e, portanto, necessita de incorporar todas as ferramentas de marcação numa só estação.



**Figura 16 Linha centralizada na zona de qualidade**

A automação da zona de marcação na linha centralizada depende de muitos recursos e de um alto nível de desempenho. Para a redução de custos e otimização, a robotização é o mais indicado. Nas próximas secções irão ser apresentados exemplos da utilização de robôs na indústria de pneus e, por último, uma breve explicação das máquinas automatizadas, que constituem a zona de marcação, desenvolvidas pela empresa Gislatica – Mechanical Solutions.

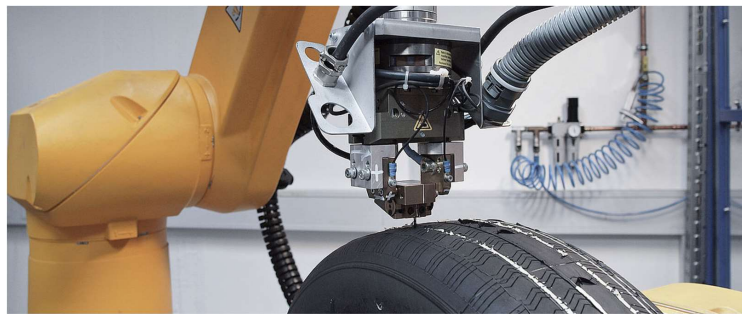
### **3.1. SOLUÇÃO DE ROBÓTICA PARA A INDÚSTRIA DE PNEUS**

Esta secção tem como objetivo apresentar exemplos da utilização de robôs na indústria de pneus, não sendo apresentado nenhum que execute a mesma função que o projeto desenvolvido, dado que não foi encontrado nenhum exemplo do mesmo.

### **3.1.1. ESTRUTURA AUTOMATIZADA DE PNEUS PROTÓTIPOS**

Os pneus de protótipos são produzidos em pequenos números de exemplares para a realização de testes e são, normalmente, esculpidos à mão. Em comparação com a solução anterior, a robotização desta tarefa economiza cerca de 50% somente em programação e configuração 3D e outros 15% são economizados pela célula do robô durante a produção [24].

Na Figura 17 é possível observar que a célula de fabrico tem um robô com um sétimo eixo onde é adicionado o pneu. Este eixo é uma plataforma giratória e está totalmente sincronizado com o robô. O processo de corte, para a criação do trilho, é realizado por uma lâmina aquecida [24].



**Figura 17 Criação do trilho de um pneu por um robô [24]**

### **3.1.2. CARREGAMENTO DAS PRENSAS DE CURA**

Os robôs são a maneira mais eficiente de carregar as prensas de cura. São utilizados robôs lineares que retiram os pneus do tampão dos pneus verdes para a mesa de carregamento da prensa, tal como se pode observar na Figura 18 [25].



**Figura 18 Robô de carregamento da prensa de cura [25]**

### 3.1.3. ARMAZENAMENTO DE PNEUS

Os robôs têm uma importante função entre operações, como por exemplo, entre a zona de cura e a zona de testes. Depois da saída da zona de cura, os robôs separam e empilham os pneus de acordo com o tipo, e são posteriormente colocados no chão até poderem avançar para a próxima fase. Estes robôs conseguem pegar nos pneus individualmente ou em pilhas e adaptar o espaço de maneira a maximizar o mesmo quando o tamanho do pneu altera ou exista uma produção mista de pneus. É possível observar na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**<sup>19</sup> um exemplo da explicação anterior [25].



Figura 19 Robô de armazenamento de pneus [25]

### 3.1.4. PALETIZAÇÃO

A paletização com robôs é bastante vantajosa, uma vez que é possível configurar facilmente o tipo de paletização, como por exemplo, horizontalmente, verticalmente, padrão *rick rack* em paletes ou em gaiolas. Uma outra vantagem é a possível alteração do tipo de paletização dependendo do tipo de pneu, não necessitando assim de equipamento adicional específico para cada tipo de paletização. Na Figura 20 é possível observar os três tipos de paletização enunciados anteriormente.



Figura 20 Robôs de paletização de pneus

### **3.2. SOLUÇÕES DE ROBÓTICA DA GISLOTICA PARA A INDÚSTRIA DE PNEUS**

Esta secção apresenta as células robóticas desenvolvidas pela Gislatica para a indústria de pneus.

#### **3.2.1. SISTEMA ROBOTIZADO DE CARREGAMENTO AUTOMÁTICO DE BOBINES**

Uma das aplicações robotizadas da Gislatica é o sistema de carregamento automático de bobines, mostrado na Figura 21. Este sistema é utilizado na indústria dos pneus para produzir tela metálica. A tela é conseguida à custa de 1200 fios provenientes de uma “fieira” com 1200 bobinas, com 40 kg cada, que necessitam de ser carregadas. Para tal, existe um sistema linear e um sistema rotativo. O sistema linear é um “carro” que se desloca ao longo de uma fileira e o sistema rotativo é composto pelo robô que faz a transferência das bobinas da palete para o sistema linear [26].



**Figura 21 Robô de carregamento automático de bobines [26]**

#### **3.2.2. SISTEMA PARA DEPOSITAÇÃO DE SILICONE NO INTERIOR DO PNEU (MÁQUINA DE PINTURA)**

O objetivo desta máquina é depositar uma camada de um tipo de “silicone” no interior do pneu em verde para facilitar o desenformar do molde da prensa. Para isso, o pneu é segurado de um dos lados por uma garra que está colocada no punho do robô. Este pneu chega num tapete rolante e para numa posição predefinida. Um sistema de visão artificial determina o centro do pneu e passa essa informação ao robô. O robô posiciona a garra nas coordenadas

que o sistema de visão lhe forneceu e, de seguida, pega no pneu, desloca-o para a frente da pistola (típica de pintura) e roda o pneu 360°, de modo a que seja depositada essa camada de silicone em toda a sua superfície interior. Posteriormente, o robô vai largar o pneu no tapete de saída e desloca-se para uma estação de limpeza de modo a limpar os dedos da garra. É possível observar o *layout* desta máquina na Figura 22.



**Figura 22 Sistema de deposição de silicone no interior do pneu [26]**

### **3.3. EQUIPAMENTOS PARA MARCAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PNEU**

Esta subsecção é destinada à explicação do funcionamento do conjunto de máquinas que a Gislottica – Mechanical Solutions desenvolveu para realizar o cumprimento do objetivo do projeto. De momento são necessárias 3 máquinas diferentes: a *spotting station*, a *combo marking station* e a *inspection station*.

#### **3.3.1. SPOTTING STATION**

A máquina *Spotting Station*, ilustrada na Figura 23, é uma estação que centraliza o pneu no transportador e gira o pneu para alinhar o código de barras numa determinada direção.

O pneu chega do transportador para o centro da estação, e são fechados os braços para centralizar o pneu. Esta máquina incorpora um sistema de visão artificial para detetar o pneu e o local do seu respetivo código de barras; esta informação serve para indicar o quanto o pneu deve girar para o ângulo pretendido. De seguida, os braços abrem para o pneu sair devidamente alinhado para a próxima estação [26].

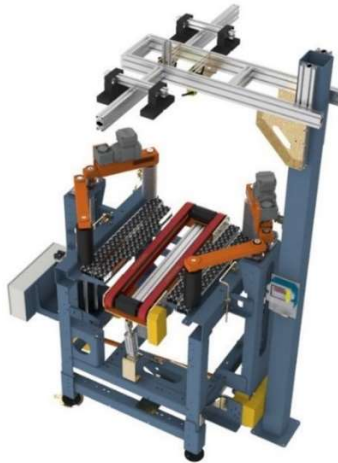


Figura 23 *Spotting Station* [26]

### 3.3.2. *COMBO MARKING STATION*

A máquina *Combo Marking Station*, mostrada na Figura 24, é uma estação projetada para realizar marcações em pneus.

Esta estação recebe o pneu com a orientação de marcação centrada com o eixo do tapete. O pneu avança até o talão chegar a um determinado local, um cilindro baixa e, de seguida, o pneu anda para trás ficando com o acoplamento do cilindro dentro do pneu. A etapa seguinte é a realização da marcação. Para este efeito, o pneu é prensado entre o objeto de marcação e o acoplamento do cilindro. Finalizada a marcação é feito o processo inverso da retirada do cilindro e a extração do pneu para a próxima estação [26].

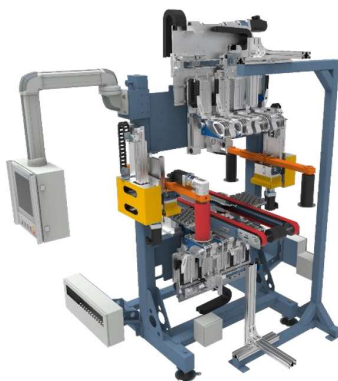


Figura 24 *Combo Marking Station* [26]

### **3.3.3.      *INSPECTION STATION***

A máquina *Inspection Station*, representada na Figura 25, é uma estação que valida todos os tipos de marcações no pneu.

A estação é maioritariamente apoiada na visão artificial e, portanto, o pneu é movido até ficar na zona de captura da câmara, sendo posteriormente realizada a inspeção e, por fim, o pneu é conduzido para o transportador [26].



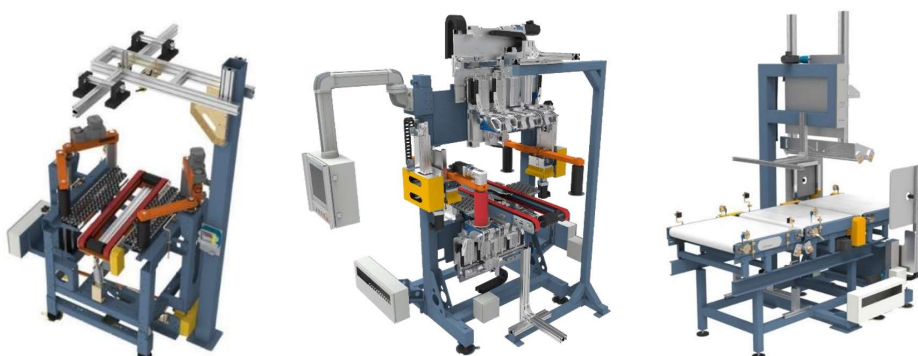
**Figura 25 *Inspection Station* [26]**



## 4. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

Este capítulo tem como foco expor a arquitetura do projeto e o funcionamento genérico das soluções.

Para uma melhor compreensão da arquitetura é apresentada a Figura 26 para demonstração da implementação atual. É constituída por três máquinas montadas em série, primeiro a *Spotting Station*, de seguida a *Combo Marking Station* e por fim a *Inspection Station*. O funcionamento de cada uma está apresentado no capítulo anterior.

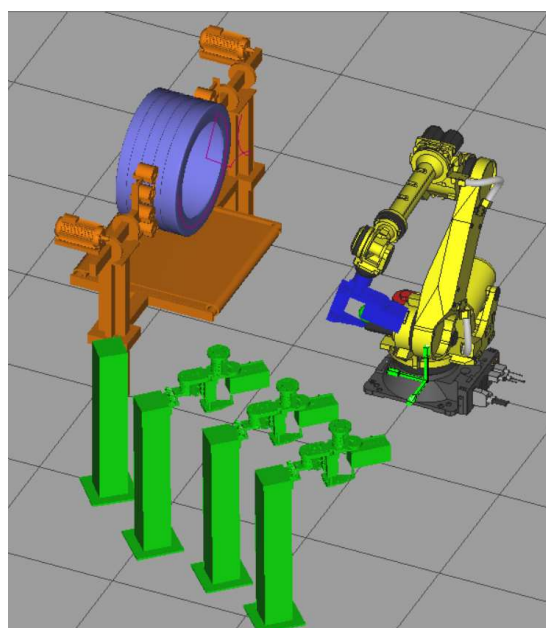


**Figura 26 Demonstração da implementação atual**



A sequência de funcionamento começa na máquina *Spotting Station*; esta coloca o local de marcação da QM alinhado com o eixo central da máquina, seguindo para a máquina seguinte, *Combo Marking*, sem perder o alinhamento com o eixo central e é realizada a marcação. Por fim, é deslocado para a última máquina, *Inspection Station*, encarregue de inspecionar a marcação realizada. Tanto a primeira máquina, como a terceira máquina, estão equipadas com visão artificial, uma para detetar o pneu e orientá-lo para a marcação correta e a outra para inspeção da marcação. Na segunda máquina existem oito cabeças de marcação, quatro para marcar a parte de cima do pneu e outras quatro para marcar a parte de baixo do pneu, dado que existem quatro cores de marcação.

A Figura 27 apresenta a implementação do projeto, que contém um robô, uma a mesa de marcação, uma *stand*, um controlador do KBA e o próprio KBA e a visão artificial. Estes são os equipamentos principais para a realização do objetivo.



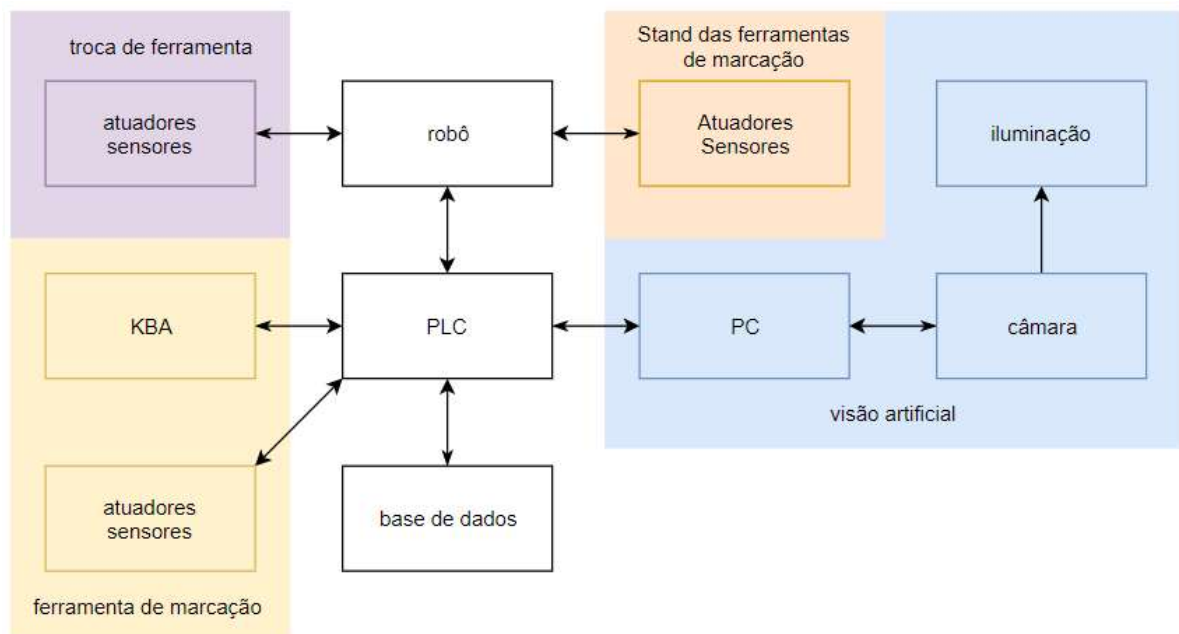
**Figura 27 Demonstração da implementação desenvolvida**

Nesta implementação a mesa de marcação encarrega-se de centrar o pneu e o robô encarrega-se de realizar a marcação da QM. Existe uma *stand* com quatro cabeças de marcação, cada uma com um KBA, correspondente a cada cor de marcação. A visão artificial está acoplada no robô para a realização tanto da deteção da orientação de marcação como da inspeção da QM marcada.

## 4.1. ARQUITETURA

A arquitetura geral do sistema descreve de uma forma simplificada a estrutura do sistema desenvolvido, permitindo obter uma noção geral da implementação e respetiva compreensão.

Para o cumprimento do objetivo do projeto foi idealizada a arquitetura da Figura 28. Analisando-a, é possível concluir que a solução pode ser dividida num conjunto de blocos que representam a interligação entre os diversos subsistemas que constituem o sistema global.



**Figura 28 Arquitetura do sistema**

O PLC é o subsistema central, o “cérebro” do sistema, e é responsável por receber a informação dos vários subsistemas ligados a si, processar a informação e tomar decisões. Tem como objetivo receber os dados do computador pessoal, PC, consultar a base de dados para obter informação do pneu correspondente, processá-la e enviar para o robô. Para além disso, recebe e envia dados para o KBA, controlador da ferramenta de marcação, consoante as indicações do robô e de alguns sensores. Também controla alguns atuadores, como por exemplo, válvulas pneumáticas.

O PC, a câmara e a iluminação formam um grupo, visão artificial, que tem como objetivo a captura da imagem, o seu processamento e o envio do respetivo resultado para o PLC. A

câmara dá um *trigger* à iluminação para criar um *flash* no momento da captura da imagem. O PC recebe a informação capturada pela câmara e trata-a antes de enviar o resultado ao PLC.

O robô recebe os dados do PLC e executa os comandos respetivos, e também envia dados para o PLC, como por exemplo, na chegada à zona de marcação. Os atuadores e sensores ligados ao robô têm a função de realizar a troca de ferramenta.

## 4.2. FUNCIONAMENTO DO PROJETO

Como referido anteriormente, o projeto exige a validação de três soluções diferentes. Para tal, é explicado o funcionamento genérico, com a explicação da sequência dos processos. Sendo estes iguais a todas as soluções, pode-se observar o fluxograma da sequência dos processos na Figura 29.



Figura 29 Fluxograma do funcionamento do projeto

Quando o pneu é colocado no local pretendido, o PLC faz um pedido ao PC para lhe fornecer a informação do ângulo do código de barras em relação a um eixo definido em cada solução. Paralelamente, retira da base de dados informações importantes como o diâmetro e a largura do pneu. Esta informação em conjunto é tratada pelo PLC e é enviado para o robô o raio de marcação e o respetivo ângulo.

O robô com a informação recebida verifica a ferramenta de marcação e altera-a se necessário. Com a ferramenta apropriada dirige-se para o local de marcação. É de salientar que a posição da ferramenta está perpendicular à zona de marcação, para o símbolo sair estampado na direção do centro do pneu. Com o robô bem posicionado é enviada informação para o PLC de que pode fazer a marcação.

O ciclo do PLC para a marcação da QM é simples: dá ordem à válvula pneumática para fechar o cilindro encarregue de apertar o pneu contra o KBA, espera que feche e de seguida dá ordem ao KBA para fazer a marcação. O KBA executa a marcação e indica ao PLC que está concluída. Por fim, o PLC ordena a abertura do cilindro e indica ao robô que a marcação foi concluída.

O robô move-se para o lado até a câmara capturar a zona marcada e indica ao PLC que pode fazer a validação da QM. O PLC passa o testemunho ao PC e aguarda o resultado.

Por fim, se o resultado obtido for válido, é ordenado ao robô que se dirija para a posição inicial, posição de repouso. Caso o resultado obtido seja inválido, é executada novamente a sequência de marcação da QM.

À segunda vez consecutiva que a mesma QM seja inválida, a informação é adicionada à base de dados e o robô dirige-se para a posição de origem, dando continuidade ao processo com a saída do pneu e entrada de um novo.

### **4.3. FUNCIONALIDADES**

Este projeto tem várias funcionalidades, tais como, a troca de ferramenta, a marcação da QM, deteção do pneu e o ângulo do respetivo código de barras e a validação da QM marcado.

#### **4.3.1. TROCA DE FERRAMENTA**

A troca de ferramenta é uma funcionalidade vantajosa para o projeto, possibilita a redução do tamanho da garra e reduz o peso da mesma. A flexibilidade de trabalho é aumentada, uma vez que existe a possibilidade de trocar a ferramenta para a pretendida. Na Figura 30 está representada um exemplo de troca de ferramenta.



**Figura 30 Troca de ferramenta**

#### **4.3.2. MARCAÇÃO DA QM**

A marcação da QM é a funcionalidade principal do projeto. O projeto foi desenvolvido para validar a sua marcação com recurso ao robô. Também foi desenvolvida a funcionalidade de marcar a mesma QM duas vezes seguidas. Esta funcionalidade recorre do equipamento de marcação, anteriormente explicado.

Na Figura 31 está demonstrado o dispositivo de marcação das QM.



**Figura 31 Dispositivo de marcação das QM [17]**

#### **4.3.3. DETEÇÃO DO PNEU E RESPETIVO CÓDIGO DE BARRAS**

Uma funcionalidade indispensável é a capacidade de o sistema detetar o local de marcação. Qualquer sistema de marcação de QM necessita desta funcionalidade, uma vez que existe um local de marcação diferente para cada pneu. A criação desta funcionalidade tem como recurso a visão artificial.

#### **4.3.4. VALIDAÇÃO DA QM**

A validação da QM é uma funcionalidade de controlo de qualidade do produto e, neste caso, está encarregue de avaliar a marcação executada pelo sistema. Foi pensada para a redução de custos e do tempo de ciclo e, uma vez que o projeto já inclui visão artificial, foi implementado com os mesmos recursos.



# 5. IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo visa explicar todo o procedimento de construção de *hardware* e *software* durante o projeto.

## 5.1. *HARDWARE*

Esta secção é dedicada a todo o *hardware* utilizado e desenvolvido, tendo por base a explicação e elucidação das opções escolhidas durante o desenvolvimento. Inicialmente é explicado o *hardware* mecânico, de seguida o *hardware* relativo à visão artificial, o *hardware* pneumático e por fim o *hardware* elétrico.

### 5.1.1. FERRAMENTA DE MARCAÇÃO

Nesta subsecção é descrito todo o desenvolvimento do *hardware* da garra mecânica. No desencadear são apresentadas as dificuldades e as soluções encontradas para as contornar.

O *hardware* mecânico, ferramenta de marcação, foi o primeiro componente a ser desenvolvido, uma vez que era o principal objetivo do projeto. A estrutura da ferramenta foi desenvolvida no programa Autodesk Inventor Professional 2018. Paralelamente eram executados testes de validação, no programa de simulação do robô a utilizar, ROBOGUIDE.



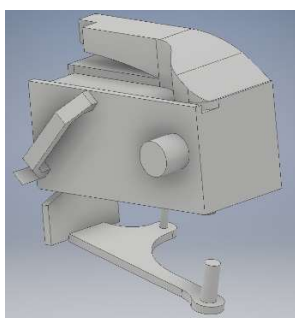
No desencadear da solução, a criação e validação das soluções passaram por vários estágios. O primeiro foi a simulação de várias alternativas de colocação do pneu em relação ao robô, com o intuito de verificar a viabilidade de marcação do pneu. Durante este processo foram seriadas 4 simulações, o pneu em pé com o piso direcionado para o robô, o pneu em pé com o talão direcionado para o robô, o pneu deitado e, por último, o pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo.

O segundo estágio foi a criação de uma garra capaz de ser aplicada no maior número de alternativas seriadas. Durante a criação foram simuladas o que levou à criação vários esboços, como é possível verificar na Figura 32.



**Figura 32 Esboço de garras desenvolvidas**

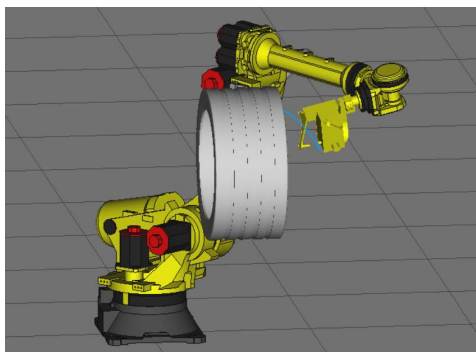
A garra obtida, capaz de chegar ao maior número de alternativas está apresentada na Figura 33.



**Figura 33 Garra abrangente ao maior número de alternativas**

### **Pneu em pé com o piso direcionado para o robô**

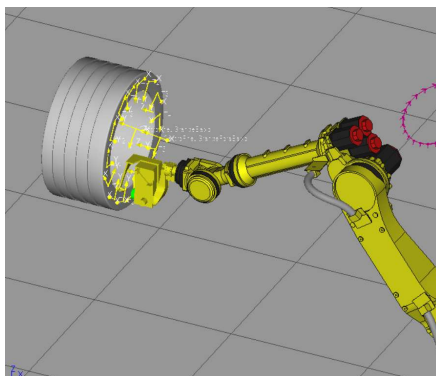
O pneu em pé com o piso direcionado para o robô foi validado com a chegada da ferramenta a todo o flanco do pneu e de ambos os lados. O pneu necessita de estar aproximadamente a 2 metros do centro do robô no eixo  $x$  e a 1 metro de altura no eixo  $y$ . A Figura 34 apresenta a validação desta simulação.



**Figura 34** Validação do pneu em pé com o piso direcionado para o robô

### **Pneu em pé com o talão direcionado para o robô**

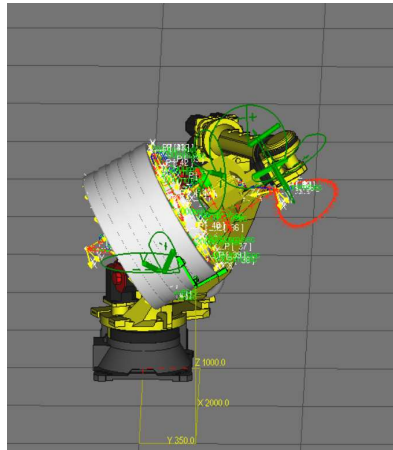
O pneu em pé com o talão direcionado para o robô foi validado com a chegada da ferramenta a todo o flanco do pneu, mas apenas de um lado de cada vez. Caso seja necessário marcar na face contrária, o robô necessita de auxílio externo para rodar o pneu. Uma vantagem deste processo face ao anterior é a possibilidade de diminuição do tamanho do robô. O pneu, no caso estudado, está aproximadamente a 2 metros do centro do robô no eixo  $x$  e a 1 metro de altura no eixo  $y$ , existindo mais distâncias compatíveis para o correto funcionamento do robô. Na Figura 35 é possível observar a configuração entre o pneu e o robô.



**Figura 35** Validação do pneu em pé com o talão direcionado para o robô

### **Pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

O pneu com piso direcionado para o robô com inclinação de 30 graus com o solo, foi validado com a chegada da ferramenta a todo o flanco do pneu e de ambos os lados. O pneu necessita de estar aproximadamente a 2 metros do centro do robô no eixo  $x$  e a 1 metro de altura no eixo  $y$ , com uma rotação angular de 30 graus no eixo  $x$ . Na Figura 36 é apresentada a validação desta simulação.



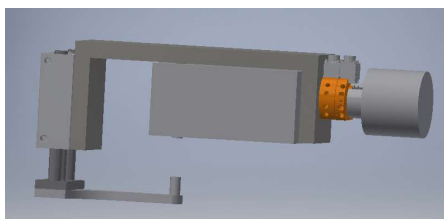
**Figura 36 Validação do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

### **Pneu deitado**

Na validação do pneu deitado verificou-se que a ferramenta projetada e validada nas soluções anteriores não era compatível, uma vez que o robô não tinha alcance suficiente para projetar a ferramenta nas duas faces do flanco sem movimentar o pneu.

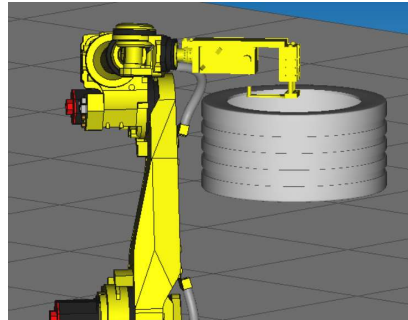
O objetivo para esta simulação foi alterado, passando a ser a marcação de apenas 1 ponto em ambos os flancos, em vez de conseguir marcar em toda a extensão do flanco.

A ferramenta obtida para esta solução é a da Figura 37.



**Figura 37 Ferramenta de marcação para a solução do pneu deitado**

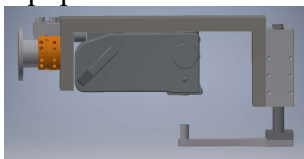
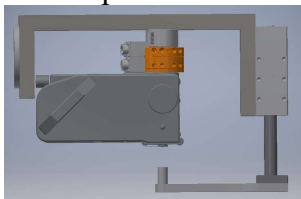
A localização do pneu para esta solução não é muito diferente das anteriores, com a necessidade de estar aproximadamente a 2 metros do centro do robô no eixo  $x$  e a 1 metro de altura no eixo  $y$ , existindo mais distâncias compatíveis para o correto funcionamento do robô. Na Figura 38 é apresentada a validação desta simulação.



**Figura 38 Validação da solução do pneu deitado**

Como explicado nos capítulos anteriores, existem vários marcadores para suportar as diversas cores possíveis de marcação. Para mudar de cor apenas é necessário trocar o marcador, mas a ferramenta de marcação não é apenas o marcador, tendo um sistema que auxilia a sua marcação no pneu. Foi estudada a viabilidade de apenas trocar o marcador ou toda a ferramenta de marcação, sendo por isso analisadas as vantagens e desvantagens de cada solução, demonstradas na Tabela 5. A opção adotada foi a troca de todo o equipamento.

**Tabela 5 Vantagens e desvantagens da troca da ferramenta ou apenas do marcador**

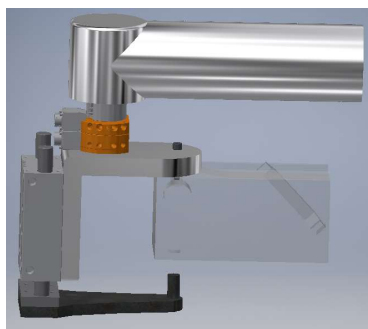
|  | Vantagens   | Desvantagens  |
|--|---|---|
| Troca de todo o equipamento<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidade em trocar a altura do pino consoante as várias alturas do pneu</li> <li>Facilidade na troca de Garra</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento do custo por marcador</li> </ul>   |
| Troca apenas do marcador<br>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução de custos, mantendo a parte comum a todos os marcadores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento do tempo de ciclo da troca de ferramenta</li> <li>Necessidade de paragem para manutenção do equipamento comum a todos os marcadores</li> </ul> |

### **5.1.2. VALIDAÇÃO DAS FORÇAS DA FERRAMENTA DE MARCAÇÃO**

Foi criada uma análise de tensão para cada objeto individualmente, com o objetivo de cumprir com os requisitos mecânicos necessários. Os primeiros requisitos a serem analisados foram o fator de segurança e o deslocamento que deve ser inferior a 0,20 mm. E ainda, o peso total da garra, que não pode ultrapassar os 25 kg. De seguida analisou-se o momento da ferramenta de marcação completa.

A validação dos requisitos levou a várias alterações mecânicas e estruturais em ambas as garras. Na garra para a marcação do pneu deitado, foram realizados ajustes para a redução de peso, como por exemplo, no bloco que une a troca de ferramenta ao restante equipamento. O suporte que tem o pino para prensar o pneu contra o KBA, no momento de marcação, teve alterações a nível estrutural para suportar a força pretendida. A análise do momento da ferramenta levou à reestruturação da garra, uma vez que este era superior ao momento suportado pela troca de ferramenta.

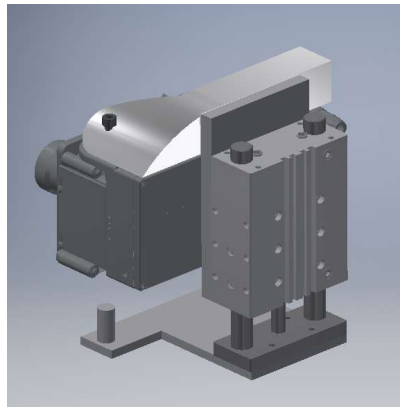
A dificuldade foi ultrapassada com o reposicionamento da troca de ferramenta, que passou para o mesmo local da garra de marcação que abrange o pneu todo. O resultado observa-se na Figura 39.



**Figura 39 Ferramenta de marcação de dois pontos depois de realizada a análise em tensão**

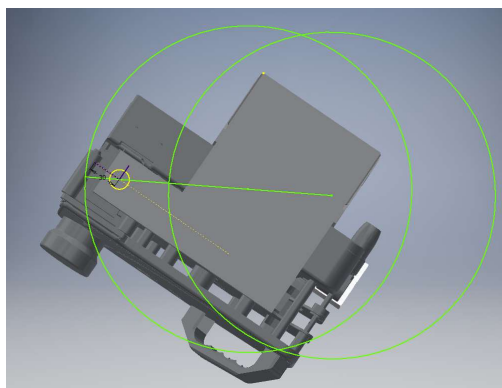
Na garra de marcação que abrange o pneu todo também foram realizadas alterações para cumprir os requisitos pretendidos. Nesta solução, o dimensionamento do cilindro resultou num com 1600 N, sendo um cilindro enorme, foi aconselhado a não utilizar. Para solucionar o problema foi pensado na colocação de dois cilindros mais pequenos, um em cada lado do KBA, contudo, esta hipótese dificulta a troca da fita de marcação. Posto isto, a solução para diminuir o cilindro passou pela retirada da dobradiça que une o apoio do pino de marcação

com a restante estrutura e implementar o cilindro da solução da ferramenta do pneu deitado. É possível observar a solução na Figura 40.



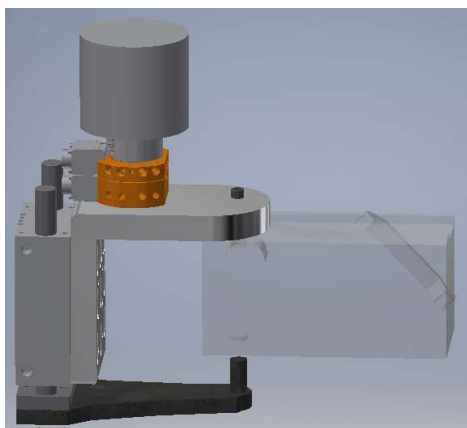
**Figura 40 Solução para a retirada da dobradiça para a fermenta de marcação que abrange todo o pneu**

No entanto, esta solução apresenta um inconveniente no que diz respeito à entrada do pneu, como é possível observar na Figura 41, dado que o marcador teria de entrar de lado para realizar a marcação, não sendo, deste modo, uma opção viável, uma vez que os símbolos ficariam de lado, ficando em não conformidade com o pretendido pelo cliente.



**Figura 41 Entrada no pneu para marcação abrangente do pneu todo, marcação dos símbolos tortos**

Para a resolução do inconveniente, optou-se por uma nova abordagem: a utilização da garra de marcação do pneu deitado, mas com a alteração do suporte que interliga a troca de ferramenta ao robô. As simulações foram positivas, sendo possível observar o produto final na Figura 42.



**Figura 42 Ferramenta de marcação para todo o talão do pneu**

É possível concluir que para as três soluções existem duas garras, mas apenas uma ferramenta de marcação, isto é, a única diferença entre as garras é a interligação entre a troca de ferramenta e o robô.

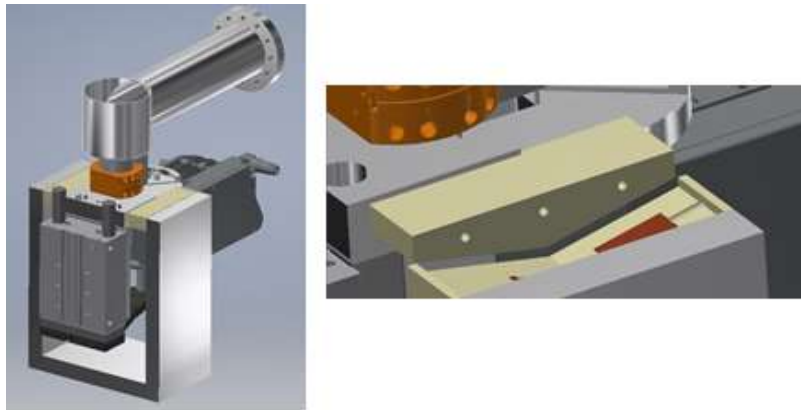
A etapa seguinte é a elaboração do *stand* para a troca de ferramenta. Este tem dois requisitos necessários, a transferência de energia para o KBA e o posicionamento preciso, mas com capacidade de absorver tensões provocadas pelo momento da troca de ferramenta.

O controlador do KBA está demonstrado no lado esquerdo da Figura 43 e no lado direito, observa-se o KBA. A transferência de energia nunca pode ser interrompida entre eles, dado que a sua interrupção, para além de criar atrasos para a revalidação da comunicação, também tem desperdício de QM.



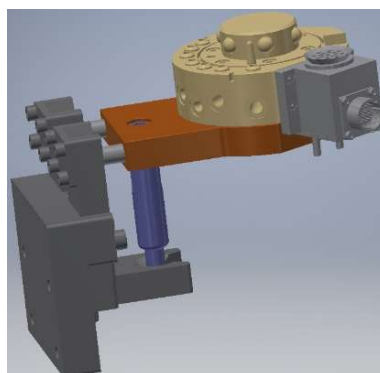
**Figura 43 Ilustração do KBA e seu controlador**

A primeira opção foi o acoplamento de blocos em triângulo, nas laterais da ferramenta, que suportam o peso no momento de repouso e em simultâneo a passagem de energia elétrica pelo seu interior, como se verifica no lado direito da Figura 44. O bloco que seria o *stand* inclui o acoplador para os triângulos. Como o centro de massa da ferramenta se encontra entre os triângulos, a ferramenta não cairia, mas com algum toque poderia alterar a sua posição. É possível observar a ferramenta acoplada ao suporte no lado esquerdo da Figura 44.



**Figura 44 Apoios e *stand* da ferramenta de marcação com triângulos**

Para retificar o defeito anterior foi explorada outra opção, que acabaria por ser implementada. Esta solução é a implementação do suporte para a troca de ferramenta que a marca da mesma disponibiliza, mas com uma pequena alteração, uma vez que a adaptação é apenas para a “fêmea” da troca de ferramenta e na solução pretendida é necessário para o “macho” da troca de ferramenta. É possível observar esta solução na Figura 45. Com esta opção, a passagem de energia elétrica é realizada através do acoplamento disponibilizado pela empresa da troca de ferramenta.



**Figura 45 Solução final para o apoio da ferramenta no stand de ferramentas**

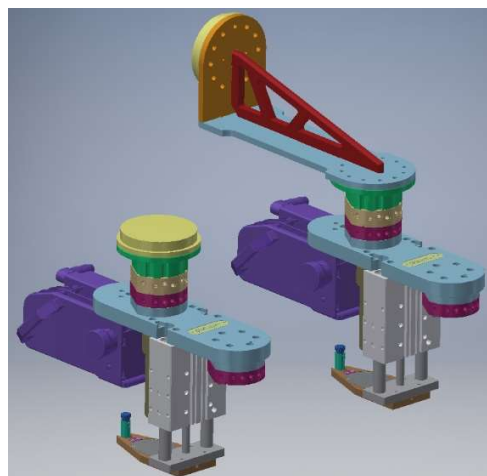


A Figura 46 demonstra a implementação real da *stand* da troca de ferramenta.



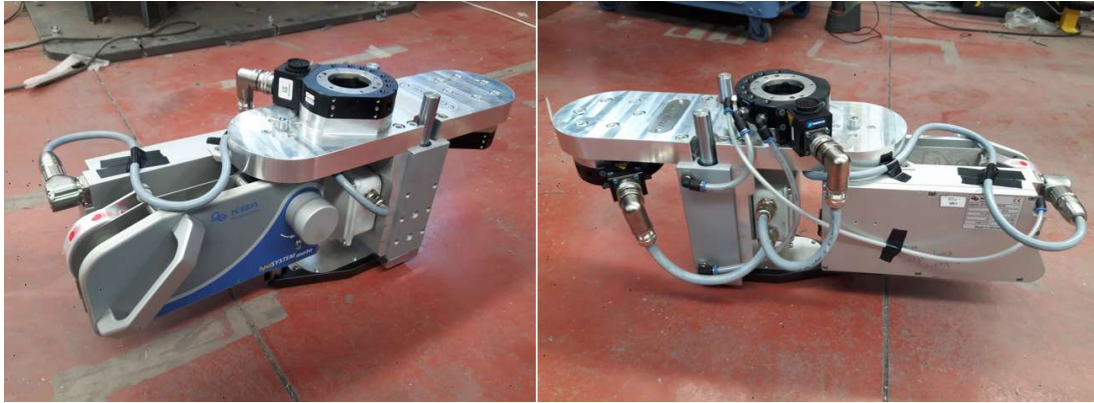
**Figura 46 Solução real do *stand* da troca de ferramenta**

A última fase do processo envolve a simplificação da realização das peças ao serem implementadas na prática. Sem alterar as relações e cotas importantes, foram realizados ajustes para obtenção do pretendido. O resultado final é apresentado na Figura 47, onde se observa, no lado inferior esquerdo, a ferramenta para a marcação em todo o talão e no lado superior direito, a ferramenta para a marcação em apenas dois pontos, pneu deitado.



**Figura 47 Ferramentas de marcação finalizadas**

A implementação real da ferramenta de marcação é apresentada na Figura 48.



**Figura 48 Implementação real da ferramenta de marcação**

Na Figura 49 é possível observar a implementação real das garras: no lado esquerdo a garra para a marcação que abrange o pneu todo e do lado direito a garra para a marcação do pneu deitado.



**Figura 49 Implementação real das garras**

### **5.1.3. MESAS DE MARCAÇÃO**

As mesas de marcação foram pensadas em paralelo com a validação da possível marcação do robô e criação da ferramenta de marcação. De seguida é apresentada a solução para cada validação.

Durante a pesquisa global do trabalho foi criada uma tabela com 7 mesas, apresentada no Anexo A, cujo objetivo era a compreensão das vantagens de cada uma e também uma breve descrição do seu funcionamento.

### **Mesa do pneu em pé com o piso direcionado para o robô**

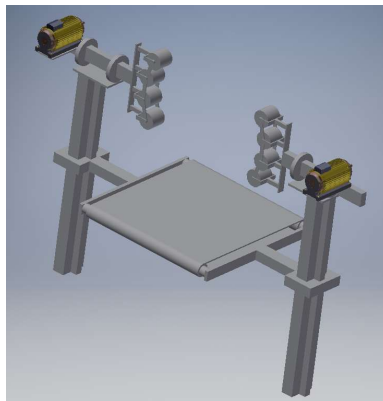
Esta é a única simulação que não terá mesa, uma vez que a solução pensada não é viável quanto à segurança e deformação do pneu no momento de marcação.

### **Mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô**

Na solução do pneu em pé com o talão direcionado para o robô, como explicado anteriormente, o robô não tem capacidade de marcar as duas faces sem que o pneu se mova. Para tal, foi implementado um eixo que roda o pneu 180 graus. A marcação é feita na vertical enquanto o pneu fica seguro pelos eixos que o invertem.

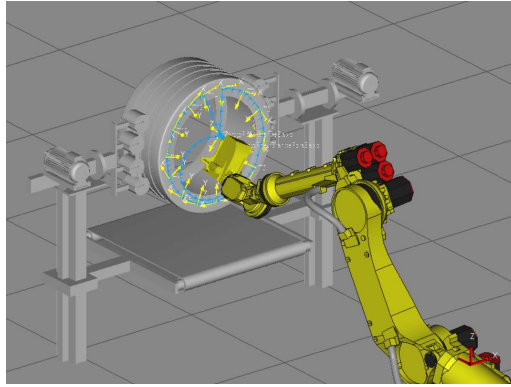
O tapete move o pneu na horizontal até este ficar colocado no interior dos eixos que o fazem girar. Posteriormente, os eixos são fechados, movendo-se um na direção do outro, até que seja obtida a pressão pretendida. Com o pneu sob pressão, o tapete move-se para baixo deixando espaço suficiente para o pneu ser colocado na vertical.

Os sistemas de eixos de fixação são capazes de girar o pneu 360 graus, dando assim a possibilidade de marcação nos dois flancos do pneu. O sistema de fixação do pneu está equipado com roldanas e sistemas de molas para conseguir abranger os diferentes tamanhos de pneus. O resultado é o da Figura 50.



**Figura 50 Mesa para a solução do pneu em pé com o talão direcionado para o robô**

A Figura 51 mostra a validação da mesa no simulador ROBOGUIDE, verificando que não existem colisões e que segura perfeitamente o pneu.



**Figura 51 Simulação da mesa para o pneu em pé com o talão direcionado para o robô**

### **Mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

A solução do pneu com piso direcionado para o robô, com inclinação de 30 graus com o solo foi baseado no esboço da mesa 3, apresentado no Anexo A.

A primeira solução é a do lado esquerdo da Figura 52, na qual o pneu entra pelo tapete implementado entre as duas zonas de fixação do pneu, como demonstrado na figura mencionada. De seguida, o pneu cai e fica pendurado em dois pinos e encostado a uma base com rodas omnidirecionais. Existe um motor que faz descer uma haste, que bloqueia o pneu contra os pinos. Com o pneu preso, é aberta a placa de encosto, ficando assim reunidas todas as condições de marcação. Para a extração do pneu é apenas encolhida a haste que pressiona o pneu e o mesmo cai num transportador.

O transportador de entrada tem uma inclinação superior a 30 graus, facilitando a queda. O restante equipamento, base de encosto, pinos de suporte e haste de marcação têm uma inclinação de 30 graus.

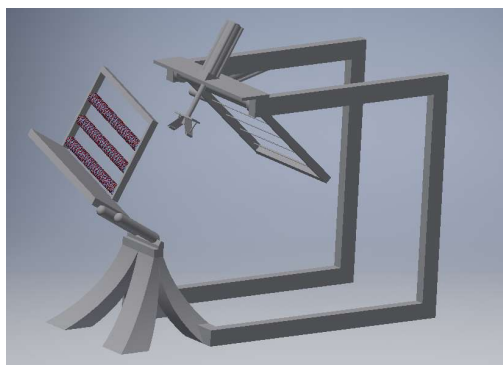
Todos os processos da primeira mesa utilizam motores elétricos. Porém, por questões técnicas e económicas, foi alterado para cilindro criando a segunda mesa, exemplificada no lado direito da Figura 52.



**Figura 52 Primeira e segunda mesas desenvolvidas para a solução do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

Na segunda mesa existe um cilindro com 1,80 metros, que pressiona o pneu contra os pinos. Para melhorar a solução foi criada uma terceira mesa, ilustrada na Figura 53, com o objetivo de reduzir o tamanho do cilindro que pressiona o pneu contra os pinos. Foi necessário alterar a entrada do pneu, mudando-a para o lado. O pneu já vem com a inclinação pretendida, o restante sistema é igual, com a vantagem da base do cilindro que pressiona o pneu poder estar mais perto do mesmo.

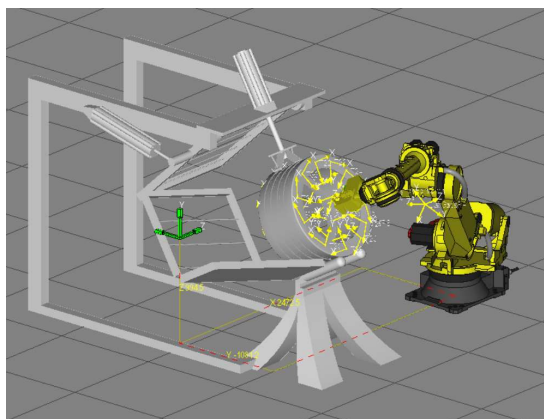
É possível observar na Figura 53 a base de encosto do pneu aberta.



**Figura 53 Mesa final para a solução do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

A Figura 54, apresenta a validação da última mesa no simulador ROBOGUIDE. Uma particularidade desta mesa é os pinos de suporte do pneu necessitarem de ser inferiores à largura do pneu, de modo a não existirem colisões.





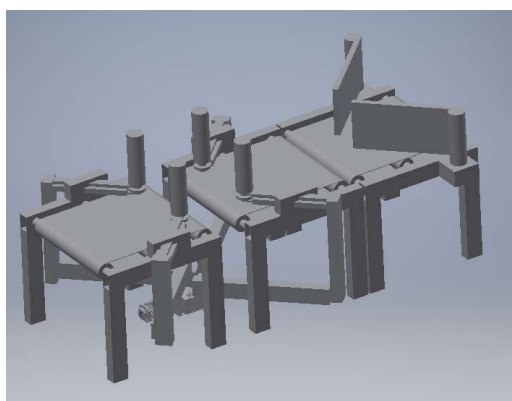
**Figura 54 Simulação da mesa para o pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

### **Mesa do pneu deitado**

A mesa do pneu deitado tem como referência a mesa 7 apresentada no Anexo A. A mesa desenvolvida tem um espaçamento entre dois tapetes, deixando a parte inferior do pneu exposta, dando assim espaço para a ferramenta de marcação chegar à parte do pneu exposta.

O pneu desliza deitado pelo tapete até ficar pousado em ambos os tapetes. De seguida, o pneu é centralizado ao encolher os 4 pinos, a orientação é de 90 graus entre cada um deles. Um dos pinos tem movimento rotacional, proporcionado por um motor, para rodar o pneu e colocá-lo na posição pretendida para a marcação.

No final da realização da marcação os pinos abrem e o pneu segue pelo transportador. Na Figura 55 é possível observar o resultado para a mesa do pneu deitado.



**Figura 55 Resultado para a mesa do pneu deitado**

A Figura 56 demonstra a validação da mesa no simulador ROBOGUIDE, verificando-se o seu bom funcionamento, uma vez que não existem colisões.

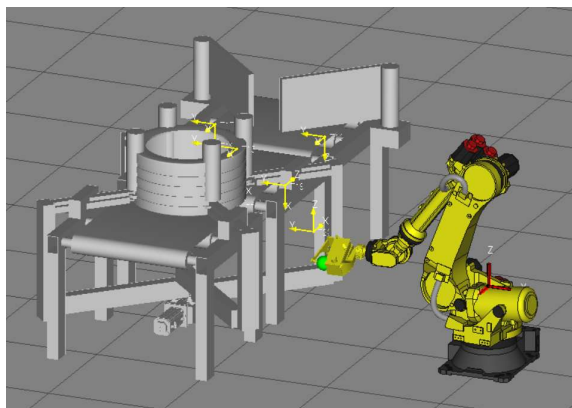


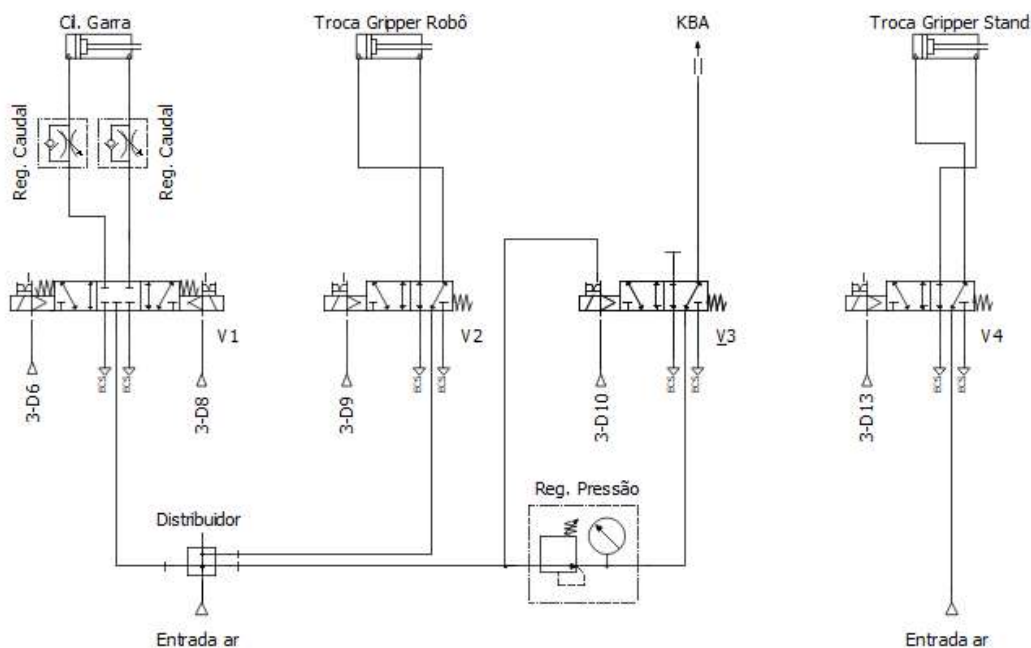
Figura 56 Simulação da mesa para o pneu deitado

#### 5.1.4. *HARDWARE* PNEUMÁTICO

Nesta subsecção é descrito todo o desenvolvimento do *hardware* pneumático do projeto. O *hardware* pneumático é responsável por acionar a troca de ferramenta acoplada no robô, bem como a acoplada na *stand*, e é também responsável por acionar o cilindro acoplado na garra e de regular a pressão do ar fornecido ao KBA.

O sistema de troca de ferramenta, já referido no Capítulo 2, tem a pressão de funcionamento igual à da rede (6 bar). Para o controlo optou-se por colocar uma electroválvula 5/2 com retorno acionado por mola. O estado normal da válvula aciona o bloqueio das esferas, garantindo assim que, em caso de falha energética, não é acionado o desbloqueio das esferas e, conseqüentemente, provocar o desacoplamento da ferramenta num momento inoportuno. Quando a electroválvula é acionada os estados invertem, acionando o desbloqueio das esferas, podendo assim realizar-se o desacoplamento da ferramenta.

Na Figura 57 é possível observar todo o esquema pneumático. A electroválvula designada no esquema por V2 é responsável pelo controlo da troca de ferramenta acoplada no robô, enquanto que a electroválvula designada no esquema por V4 é responsável pelo controlo da troca de ferramenta acoplada na *stand*.



**Figura 57 Esquema pneumático**

No esquema anterior é possível observar a electroválvula V3, esta é necessária, uma vez que o tubo entre o regulador de pressão e a KBA sofre uma abertura no momento em que a ferramenta está desacoplada. A solução adotada para estancar o ar durante a troca de ferramenta foi uma electroválvula 5/2 com retorno acionado por mola. Como o KBA só necessita de entrada de ar, é colocado um tampão na outra saída da válvula; assim, quando a válvula for acionada, e as posições inverterem, o ar é estancado. Uma particularidade desta válvula é o auxílio à pilotagem, isto é, a electroválvula não funciona com pressões baixas, precisa de ajuda do ar comprimido para vencer o esforço provocado pelos vedantes.

A ferramenta de marcação permite ajustar alguns parâmetros, como explicado no Capítulo 2. Um desses parâmetros é a pressão de marcação. Para o seu controlo é utilizado um regulador de pressão, que é colocado antes da electroválvula V3, de modo a ter acesso mesmo com a electroválvula fechada.

Entre o cilindro da garra e o seu controlo existe a troca de ferramenta. No momento de troca de ferramenta, os tubos que interligam estes dois equipamentos sofrem uma abertura. O cilindro necessita de duas saídas da válvula para o seu controlo e com o inconveniente mencionado. A solução encontrada foi a implementação de uma electroválvula 5/3 de centros fechados com retorno por mola. A estancagem é garantida pelos centros fechados, e



a abertura e fecho do cilindro são garantidos pelo acionamento da electroválvula do lado direito e do lado esquerdo, respetivamente.

O cilindro da garra tem controlo de caudal, tanto na abertura como no fecho, sendo possível observar no esquema da figura anterior. Foi escolhido este controlo para solucionar a rápida abertura e fecho, não conveniente, uma vez que pode provocar algum dano no pneu e/ou deslocamento do pneu em relação ao local pretendido.

A Figura 58 demonstra a montagem real do *hardware* pneumático. No lado esquerdo encontra-se todo o controlo responsável pelos acionamentos acoplados na garra, enquanto que no lado direito observa-se a válvula da troca de ferramenta do *stand*.



**Figura 58 Montagem real do *hardware* pneumático**

No *hardware* pneumático, os componentes de controlo devem estar o mais próximo possível dos componentes de acionamento, devido à expansão do ar ser mais lenta que a resposta elétrica. Deste modo, os componentes de comando em que os atuadores estão nas garras, foram implementados no braço do robô e os componentes de controlo em que os atuadores estão no *stand* estão implementados no próprio *stand*.

É possível observar na Figura 59 os respetivos locais de implementação dos componentes de comando. No lado esquerdo da figura é apresentada a implementação no braço do robô e no lado direito, a implementação no *stand*.



**Figura 59** Implementação dos componentes de comando do *hardware* pneumático

#### **5.1.5.      *HARDWARE* DA VISÃO ARTIFICIAL**

Como já referido anteriormente, o *hardware* da visão artificial é composto pela câmara, pela lente, pelo computador e pela iluminação. De seguida, é apresentada a escolha dos equipamentos e dificuldades encontradas durante o processo de seriação.

O computador utilizado foi o computador pessoal, que contém o ambiente de desenvolvimento. A câmara utilizada é o modelo Genie C1600 da marca DALSA, que utiliza um sensor *charge-coupled device*, CCD, de Sony de 1/1.8", com um filtro *Bayer* e com uma resolução de 1600 x 1200 pixéis. Tem uma velocidade máxima de 15 imagens por segundo e a tecnologia de transmissão de dados é *GigaEthernet*.

Foi validada a utilização das aplicações de visão artificial para as duas situações que a utilizam. As duas aplicações usam apenas uma câmara para detetar quer o ângulo quer a QM marcada. Uma das situações necessita de capturar a marcação da QM e a outra necessita de capturar o pneu na sua totalidade. Como a câmara necessita de se mover, para cumprir com ambas as tarefas, foi acoplada ao eixo 6 do robô. Este posiciona a câmara segundo o que se quer capturar (QM ou código de barras). As diferenças de escala são enormes para manter a focagem em ambas as situações. No entanto, foi possível melhorar essa situação fechando o diafragma da lente (aumenta a profundidade de campo). Sabe-se também que quanto menor a distância focal da lente, maior é a área visível perto da câmara, o que permite colocar a câmara mais próximo do pneu quando se quer observar o pneu todo. Em contrapartida tem-

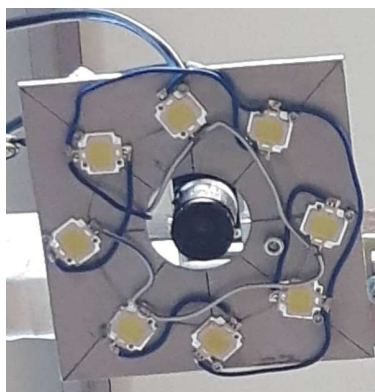
se uma menor profundidade de campo, o que implica uma desfocagem da imagem para variações mais pequenas no posicionamento da câmara.

Foram testadas as lentes de 8 mm e de 12 mm. Os testes foram iniciados com uma lente de 12 mm. Contudo, esta necessitava que o pneu estivesse bastante longe da câmara para conseguir apanhar na totalidade a captura do pneu, provocando dificuldades na validação da marcação da QM. A lente de 8 mm mostrou ser mais eficaz quanto ao posicionamento em relação ao pneu para a deteção deste e também quanto à validação da marcação da QM, mas aumentou a desfocagem. Não foram realizados testes com uma lente de 10 mm, mas pressupõem-se que seja a mais adequada para a resolução do problema.

O diafragma da câmara foi fechado totalmente para o melhoramento da focagem, uma vez que quanto mais fechado, mais focada fica a imagem (profundidade de campo); em contrapartida a imagem fica mais escura, dificultando o seu tratamento.

Como explicado no Capítulo 1, a iluminação é bastante importante para a captura da imagem. É necessária uma quantidade de luz artificial suficiente para a variação da luz ambiente não fazer interferência. Foram testadas várias luzes de intensidades diferentes e de várias cores, luz de cor azul e luz de cor branca. Não houve uma diferença notória entre ambas, tendo-se optado pela luz branca devido à maior intensidade luminosa.

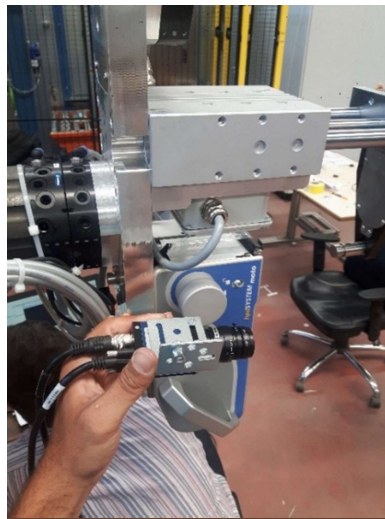
Durante os testes foi improvisado um *flash* com díodos emissores luz, LED, como mostrado na Figura 60. Este recebia o *trigger* da câmara para acender no momento de captura da imagem. Como as imagens são tiradas com intervalos de segundos e o *flash* apenas está aceso alguns milissegundos, os LED estiveram sujeitos a uma tensão mais elevada que a nominal, por consequência emite uma quantidade de luz mais elevada que a nominal.



**Figura 60** *Flash* para iluminação de testes

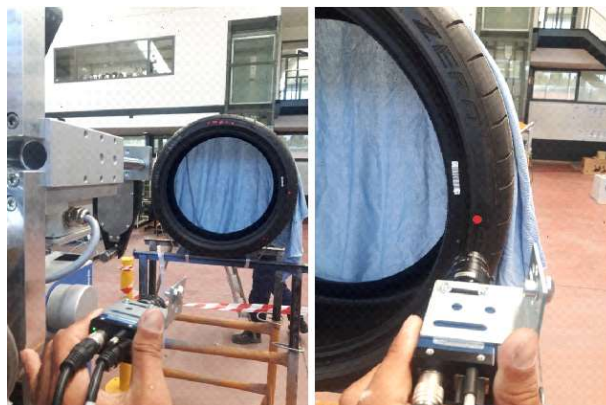
O brilho é uma reflexão direta da luz em direção à lente da câmara e é prejudicial à captura de imagem, uma vez que retira informação da mesma. Para tal, foi testada a polarização da luz artificial, colocando-se um filtro polarizado em frente da luz e outro filtro na lente da câmara. Este teste mostrou-se satisfatório, uma vez que clareou a imagem sem reflexão direta.

Devido à escassez de tempo para a utilização do robô, não foi realizado o suporte da câmara para o local pretendido. Na Figura 61 é possível observar onde ficaria implementada.



**Figura 61 Local de implementação da câmara**

No lado esquerdo da Figura 62 está demonstrada a validação em que a câmara consegue capturar o pneu todo. A distância entre a câmara e o pneu é aproximadamente 1200 mm. Do lado direito da figura está apresentada a validação da distância entre a câmara e a QM: a distância entre ambos é de aproximadamente 70 mm.



**Figura 62 Validação das distâncias da câmara**



### 5.1.6. CIRCUITO ELÉTRICO

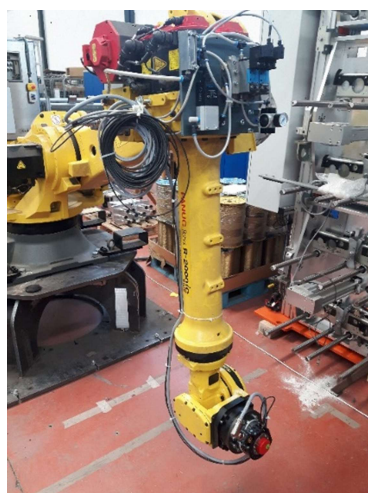
Nesta subsecção são explicadas todas as ligações do circuito elétrico, bem como as validações necessárias para o correto funcionamento do mesmo. A totalidade do esquema elétrico é possível ser consultado no Anexo B.

No decorrer da implementação do circuito elétrico foram construídas diversas fichas para interligação dos equipamentos, como, por exemplo, a ficha da Figura 63.



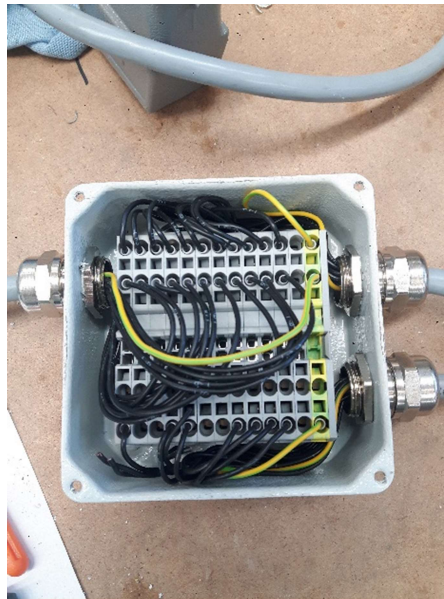
**Figura 63 Criação e conclusão de uma ficha elétrica**

Uma vez que a garra tem a necessidade de utilizar pneumática e eletricidade, os tubos e os cabos foram passados pela zona segura do robô e também foi tido em atenção os comprimentos dos cabos para que durante o movimento dos eixos 5 e 6 do robô não danificassem nem ficassem demasiado esticados. É possível observar na Figura 64 a sua implementação.



**Figura 64 Passagem dos cabos até à troca de ferramenta**

Uma validação importante para o projeto é a capacidade de o KBA não perder a conexão em nenhum momento com o seu controlador, como explicado anteriormente. Na criação do circuito elétrico foi tido em atenção o comprimento e a secção dos cabos que interligam a caixa de derivação, mostrada na Figura 65, proveniente do controlador do KBA, às trocas de ferramenta, de maneira a que as quedas de tensão fossem idênticas e garantissem que nenhuma das extremidades tem uma tensão inferior à tensão mínima de funcionamento do KBA.



**Figura 65 Caixa de derivação do controlador KBA para as trocas de ferramenta**

A visão artificial tem três circuitos: o de alimentação, comunicação e iluminação. O circuito de comunicação interliga a câmara ao PC através de um cabo *Ethernet/IP*. O circuito de iluminação é dividido em dois: o circuito de comando, que executa a ligação da câmara a uma placa de *trigger*, e o circuito de potência, que executa a ligação da placa de *trigger* aos LED. A placa de *trigger* tem como objetivo realizar a interface entre o circuito de comando e o de potência; para além disso, também limita a corrente do circuito de potência. O circuito de alimentação da câmara provém de uma fonte de 12 V, e a placa de *trigger* é alimentada com 24 V. É possível observar na Figura 66 o circuito implementado na prática.



**Figura 66 Circuito elétrico da câmara implementado na prática**

Existe um circuito de comunicação por via *Ethernet/IP* na arquitetura do sistema, que é a interligação do robô com o PLC, do PLC com o PC e do PC com a câmara. Uma vez que o PC só tem uma porta *Ethernet/IP* não foi possível de implementar. A solução para a dificuldade encontrada passava por implementar um comutador de rede; contudo, sendo impossível a obtenção do equipamento, foi necessário alterar o restante esquema elétrico.

O esquema elétrico alterado é a passagem dos atuadores e sensores da ferramenta de marcação, do PLC para o robô e a inserção do controlador da KBA, que serve para o robô dar o comando de marcação, em vez do PLC. Assim sendo, todos os atuadores e sensores estão ligados às entradas digitais do robô.

O robô possui uma carta de entradas e saídas digitais que são utilizadas para receber informação dos sensores, bem como efetuar o controlo dos equipamentos de comando.

Na carta das entradas digitais são ligados os sensores, troca de ferramenta aberta acoplada no robô, troca de ferramenta fechada acoplada no robô, troca de ferramenta aberta acoplada no *stand*, troca de ferramenta fechada acoplada no *stand* e o sensor que retorna a informação se o pino de marcação está em contato com o pneu.

Na carta das saídas digitais são necessárias seis saídas, cinco para as electroválvulas mencionadas no *hardware* pneumático e uma para o *trigger* enviado para o controlador do KBA.

Na Figura 67 é possível observar, no lado esquerdo, a carta das entradas digitais e, no lado direito, a carta das saídas digitais.



**Figura 67** Cartas I/O do robô

## **5.2. SOFTWARE**

Esta secção retrata todo o *software* realizado, visando explicar todo o seu procedimento de implementação durante o projeto. Inicialmente, é explicado o *software* desenvolvido para a visão artificial e, de seguida, explicado o *software* desenvolvido para o robô. Por fim, é explicada a implementação do protocolo PROFINET.

### **5.2.1. VISÃO ARTIFICIAL**

Todo o desenvolvimento do *software* da visão artificial foi desenvolvido no programa Microsoft Visual Studio 2017, em linguagem C++. As bibliotecas utilizadas foram disponibilizadas pela empresa. Foram instalados vários programas de suporte, como por exemplo o Sopera CamExpert, programa da câmara utilizada. Foi ainda instalado o programa ColorCalibration para definir a cor a utilizar num dos programas desenvolvidos.

A comunicação entre o PC e a câmara é *Ethernet/IP*, para tal foi necessário mudar o endereço *TCP/IPv4* do PC para 192.168.100.100 com a máscara 255.255.255.0.



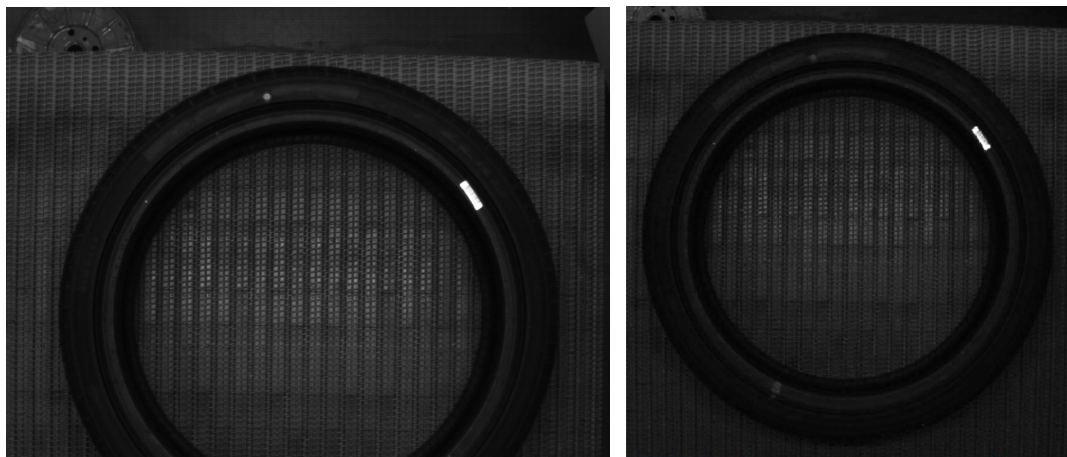
## Visão artificial SPOT

O objetivo deste programa é a detecção do ângulo do código de barras em relação a um eixo pré-definido. Para a resolução do objetivo o programa necessita de detetar o pneu, o código de barras e, por fim, a relação do código de barras com o eixo pré-definido.

Todos os programas têm uma função principal, normalmente chamada de *main*, que para além de servir como ponto de partida para a execução do programa, esta é colocada num ciclo infinito até que seja dada a ordem de paragem do programa. As restantes funções são chamadas por interrupções externas.

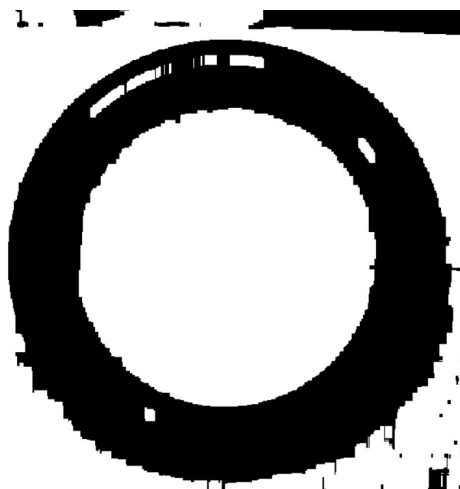
A função *init* tem a responsabilidade de inicializar todos os métodos de tratamento de imagem e a sua alocação no espaço de memória.

A função *process* inicia com a imagem real, obtida da câmara em formato *raw*, que corresponde a uma imagem resultante de um sensor com um filtro *Bayer*. Para a imagem poder ser trabalhada é necessário convertê-la; neste caso, é convertida diretamente para tons de cinzento, como exemplificado na Figura 68.



**Figura 68** Conversão do filtro *Bayer* para tons de cinza

Para a detecção do pneu é realizada a binarização da imagem a tons de cinzento, isto é, é definido um tom de cinzento e qualquer tom mais claro é transformado em branco, enquanto que qualquer tom mais escuro é transformado em preto. É possível observar na Figura 69 o resultado.



**Figura 69 Binarização do pneu**

De seguida é realizada a obtenção de todas as regiões de pixéis brancos, criação do círculo que melhor se adequa e ordenação do maior para o menor. São eliminados todos os círculos sem contar com os dois maiores, que indicam o círculo referente ao piso do pneu e o círculo referente ao talão do pneu, respetivamente. São ainda desenhados todos os círculos para confirmação visual do correto funcionamento. Esta etapa termina com o armazenamento dos dados referentes aos dois círculos.

A etapa seguinte trata de encontrar o código de barras. A binarização realizada anteriormente não é a ideal para o novo processo, uma vez que existem muitas zonas de pixéis brancos em locais indesejados. Para resolução do problema foi realizada uma nova binarização com um cinzento de referência mais escuro, Figura 70.



**Figura 70 Binarização para deteção do código de barras**

É realizado a obtenção das novas regiões de pixels brancos e criação dos círculos que melhor se adequam. Sabe-se que o código de barras está entre os dois círculos armazenados anteriormente e, portanto, são eliminados todos os círculos que não estejam contidos entre os círculos armazenados. As regiões que não são eliminadas, são desenhadas na imagem, para visualização do seu funcionamento. É armazenada a informação do círculo referente ao código de barras para a terceira e última etapa.

Deste modo, a terceira e última etapa envolve a realização dos cálculos para determinação do ângulo. São calculados o cateto maior e o cateto menor, os referenciais são o centro do pneu e o centro do código de barras, sendo que a orientação é pré-definida. Com o uso da equação 1 é obtido o resultado pretendido. Durante o cálculo é realizada a conversão de radianos para graus.

$$\text{ângulo} = \frac{\text{atan2}\left(\frac{\text{delta } y}{\text{delta } x}\right) * 180}{\pi} \quad (1)$$

## Visão artificial QM

O objetivo deste programa é confirmar que a QM está bem marcada, sendo necessário recorrer a vários parâmetros de confirmação, como por exemplo, a cor, a densidade da cor na região pretendida, a circularidade da região estudada e o seu raio real.

Inicialmente o programa foi desenvolvido *offline*, isto é, foram tiradas fotos e tratadas posteriormente. Numa fase final foi implementado *online*, a câmara captava as fotos e processava-as logo de seguida.

A função *main* desenvolvida neste programa, para além do que já foi referido no programa anterior, é responsável por definir a origem das imagens, fotos guardadas em algum local ou diretamente da câmara.

A função *init* deste programa, para além do que já foi referido no programa anterior, é responsável pela inicialização do ficheiro com a cor pretendida para a binarização.

A função *process* inicia com a imagem real, obtida da câmara em formato *raw*, que corresponde a uma imagem resultante de um sensor com um filtro *Bayer*. Para a imagem poder ser trabalhada é necessário convertê-la. Neste caso, é convertida diretamente para o sistema de cores vermelho, verde e azul, RGB. Do lado esquerdo da Figura 71 está

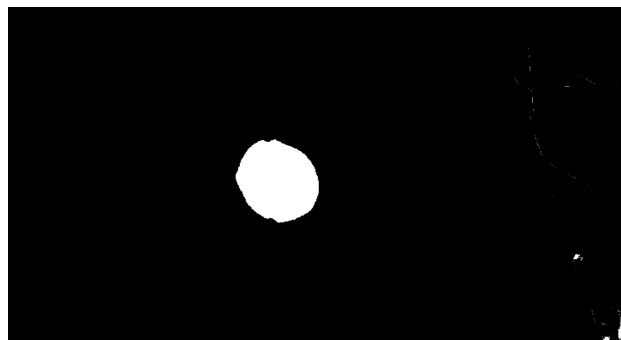
demonstrada a imagem com o filtro *Bayer*, e do lado direito está demonstrada a imagens convertida para o sistema de cores RGB.



**Figura 71 Conversão do filtro *Bayer* para RGB**

De seguida é realizada a binarização por cor; todos os pixéis que contêm a cor indicada no ficheiro inicializado na função *init* são convertidos em pixéis brancos, e os restantes pixéis são convertidos em pixéis pretos.

Durante a binarização podem existir pequenas partes da imagem em que a cor pretendida não tenha sido considerada correta. Desta maneira, para a resolução desse inconveniente são analisados todos os pixéis pretos em contato com os brancos e, se estiver dentro dos parâmetros programados, são transformados em pixéis brancos. A Figura 72 demonstra o resultado da binarização.

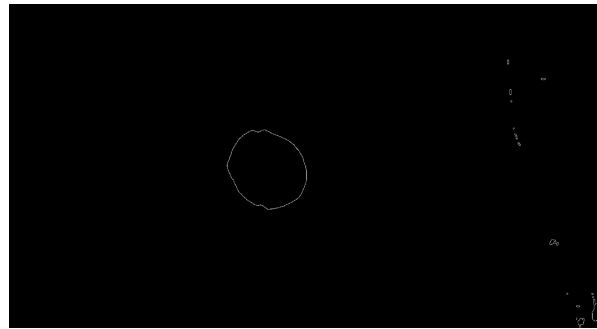


**Figura 72 Imagem binarizada**

Todas as regiões de pixéis brancos da imagem anterior são trabalhadas para encontrar as suas extremidades e, de seguida, são ordenadas por grandezas. É escolhida a região de pixéis brancos maior e é realizada uma operação para deteção da fronteira, com o intuito de calcular o círculo que melhor se adequa. É chamada a função *getCircle* e são enviados os parâmetros

do centro do círculo calculado anteriormente e um raio pré-definido. Um dos parâmetros de avaliação é o erro que o círculo calculado tem em relação às regiões de pixels brancos.

Antes da chamada da função *getCircle* é executado o *Canny* da imagem binarizada, isto é, utiliza-se a imagem binarizada para apenas se mostrar os contornos entre o branco e o preto. É possível observar o resultado na Figura 73.



**Figura 73** *Canny* da imagem binarizada

Por fim, é chamada a função *getDensidade* e é escrito o seu valor de retorno na imagem original a cores. É ainda escrito, na linha de comandos, alguns valores importantes para a validação da QM.

A função *getCircle* tem como objetivo retornar o melhor círculo dado pela transformada de *Hough*. Esta função trabalha sobre a imagem *Canny*, uma vez que para cada região de pixels brancos apenas necessita das margens da região.

A função *getDensidade* tem como objetivo a obtenção da densidade do círculo, calculado na função *getCircle*. Esta função trabalha sobre a imagem binarizada, visto que fará o varrimento de todos os pixels inseridos no círculo fornecido. A densidade é dada pelo número de pixels brancos sobre o número total de pixels analisados.

### **5.2.2. PROGRAMAÇÃO ROBÔ**

A programação e simulação do robô foram realizadas através do programa ROBOGUIDE, como mencionado anteriormente. A simulação realizada durante o desenvolvimento das garras representa o primeiro passo para validar questões mecânicas e de *layout*, pensadas para o projeto. Como explicado durante o desenvolvimento mecânico, foi possível, em

simulação, verificar quais os limites físicos e as limitações de trajetórias que o robô iria enfrentar na realidade.

### **Programação *offline***

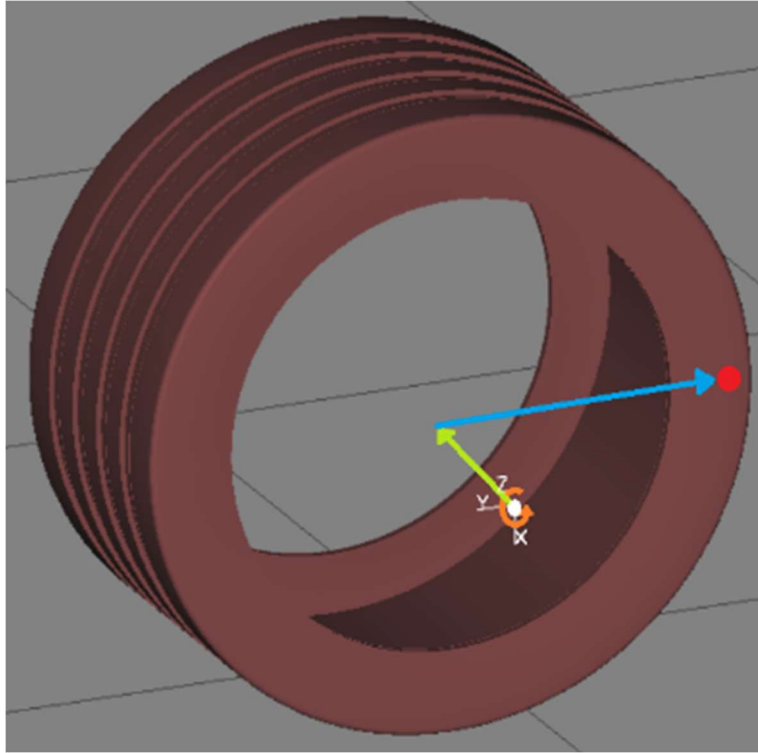
A programação *offline* focou-se em dois objetivos: o primeiro foi o auxílio à simulação para validação de trajetórias e de limites físicos, e o segundo foi o desenvolvimento dos programas a implementar em cada validação.

Foram desenvolvidos dois programas em modo *offline*, a marcação no pneu e a troca de ferramenta.

Todo o flanco do pneu pode ser marcado e os pneus não têm todos a mesma largura de trilho, como referido anteriormente. Estas duas variáveis levam a uma abordagem à qual não pode existir uma coordenada para cada marcação, uma vez que existiriam imensas coordenadas para cada pneu, multiplicando por cada largura de pneu que a máquina marcasse.

Deste modo, a abordagem adotada foi a criação de um único ponto no centro do pneu, mas com *offset* do plano do talão, ponto branco no centro da Figura 74. Como a largura do trilho e o raio de marcação estão na receita do pneu e o ângulo de marcação é calculado pelo sistema implementado, obtêm-se as três variáveis necessárias para chegar ao local de marcação.

Encontrada a solução capaz de satisfazer qualquer zona de marcação, a primeira abordagem para a realização do deslocamento da ferramenta de marcação até ao local pretendido envolveu a atualização da *Utool* da ferramenta, isto é, era somada o ângulo de marcação ao rotacional do eixo *z* (seta laranja da Figura 74); quando se ordenasse a movimentação para a mesma coordenada a ferramenta é como se estivesse fora do local pretendido, assim, a ferramenta girava sem necessidade de uma segunda coordenada. De seguida, era somado o *offset* da largura do pneu ao eixo *z* (seta verde) e ao atualizar a coordenada, a ferramenta mover-se-ia para dentro do pneu. Concluído este processo é executado de igual modo para o eixo *y* (seta azul) chegando assim à zona de marcação, o círculo vermelho.



**Figura 74 Representação do movimento da ferramenta de marcação com a atualização da Utool**

Esta abordagem não era exequível, uma vez que a ferramenta não se movia nenhuma vez. Para ultrapassar esta dificuldade, optou-se pela utilização da *Tool\_Offset*, no entanto, a movimentação não foi a esperada, devido à movimentação dos eixos lineares. A movimentação do eixo rotacional movia-se como pretendido, contudo, como o referencial da *Utool* não era alterado, a movimentação dos eixos lineares eram sempre no eixo representado na figura anterior, independentemente do ângulo utilizado para a rotação em torno do eixo z.

Como a movimentação era dada pelo eixo da *Utool*, o contorno do novo obstáculo era de fácil resolução. Em vez de ser dado o raio de marcação, era dada a coordenada de marcação.

As coordenadas de marcação são a soma do ponto atual com a equação 2, para o eixo x e com a equação 3, para o eixo y.

$$\Delta x = \cos^{-1}(\theta) * \text{raio} \quad (2)$$

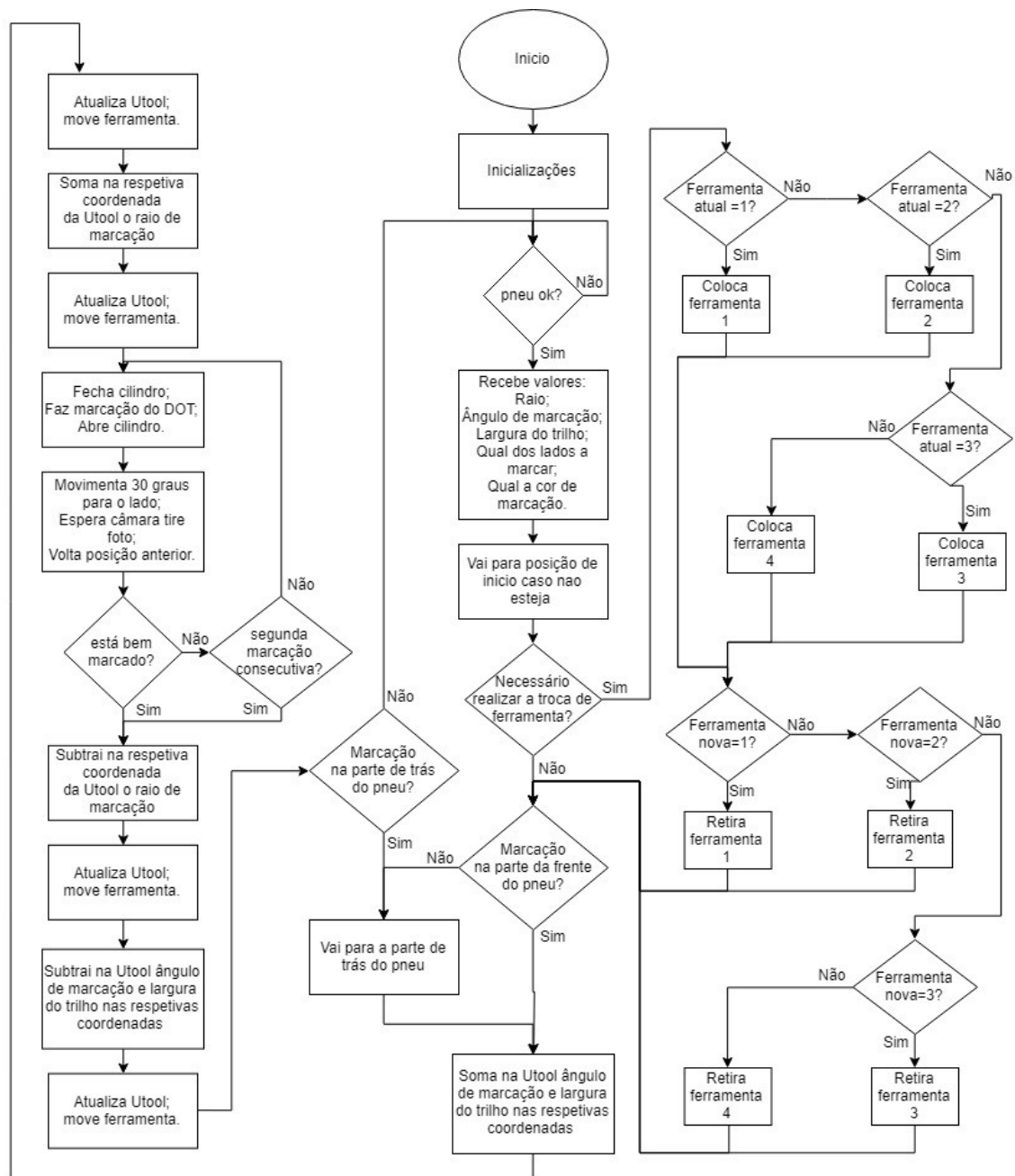
$$\Delta y = \sin^{-1}(\theta) * \text{raio} \quad (3)$$

Para a realização dos cálculos no controlador da FANUC, é necessário possuir a licença de cálculo. Dado que o robô não a possui, os cálculos seriam executados no PLC e enviados pela comunicação PROFINET para o robô. Assim sendo, a solução está funcional.

Em contato com a assistência da FANUC, foi exposta a dificuldade a qual levou à desistência da primeira abordagem para a resolução do problema. No entanto, a FANUC considerou a abordagem correta, mas o robô estava a guardar em forma matricial e para a aplicação em prática era necessário guardar em forma cartesiana. A resolução do problema não está mencionada nos manuais, mas trata-se de alterar uma variável de sistema, com o nome PR\_CARTREP, para “*True*”, uma vez que por omissão está a “*False*”.

Com a resolução do problema à primeira abordagem, o programa foi refeito, uma vez que facilita o desenvolvimento do projeto. De seguida é explicado o programa finalizado, sendo possível observar o fluxograma na Figura 75.





**Figura 75 Fluxograma do funcionamento do programa de fazer a marcação**

O programa principal quando é iniciado, inicializa variáveis com capacidade de guardar coordenadas, PR, com o valor zero. É forçada a abertura do cilindro que contém o pino de marcação. De seguida espera que seja dada a ordem de marcação. Dado que o robô não recebe nem enviava dados para o PLC, como explicado anteriormente, os dados foram inseridos manualmente em variáveis, R, e foram comentadas todas as instruções referentes à comunicação.

Dada a ordem de marcação, as variáveis são atualizadas para os valores inseridos manualmente e é garantido que a garra está nas coordenadas iniciais. Antes da garra se dirigir para o pneu, é necessário verificar se está com a cor de marcação correta, caso contrário, é necessário trocá-la. A troca é executada com a chamada de um outro programa. Neste caso, é chamado sempre o mesmo programa, uma vez que só existe uma ferramenta, mas está preparado para as quatro ferramentas, uma para cada cor de marcação. Com a cor de marcação correta, o robô deteta qual a zona a marcar, parte da frente ou parte de trás.

### **Zona de marcação, parte da frente**

Ao iniciar o ciclo de marcação é ativada a saída que liga ao controlador do KBA e tem a finalidade de mover a fita para o aparecimento de uma nova QM, na zona de marcação. Assim, a fita move-se enquanto o robô se dirige para o local de marcação, não perdendo tempo de ciclo.

A movimentação do robô é realizada em três etapas, movimentação em torno do eixo *y*, movimentação linear no eixo *y* e movimentação linear no eixo *z*. Cada movimento tem o mesmo processo, alterando apenas os registos da inserção dos valores, para os registos pretendidos.

O processo para a movimentação guarda o valor atual da *Utool* num PR, de seguida é somado ao registo seis do PR o valor da rotação em relação ao eixo *z*; tendo o PR o valor pretendido é inserido na *Utool*, ou seja, é igualada a *Utool* ao PR. Nesta etapa, com a ordem de movimentação linear da garra para a mesma coordenada do ponto em que já se encontra, a garra movimenta-se de forma rotacional, isto deve-se à tentativa de o robô repor a orientação da *Utool* na mesma do ponto. No final das três movimentações, a ferramenta chega ao local de marcação.

Chegando ao local de marcação, é colocada uma variável a zero para realizar a contagem do número de vezes que a QM é marcada. É fechado o cilindro e, quando estiver totalmente fechado, é desligada a saída digital que liga ao controlador do KBA, dando a informação que pode marcar. Espera-se 2,5 segundos, tempo de marcação do KBA e, de seguida, é aberto o cilindro.

É executado o processo de movimentação, explicado anteriormente, sendo um movimento rotacional em torno do eixo *y*. Este movimento é para a câmara ficar alinhada com a QM

marcada. De seguida, faz o movimento inverso enquanto espera confirmação. Se estiver bem marcada, volta para a posição de origem realizando o processo de movimentação, mas desta vez subtraindo os registos ao PR com a sequência inversa, primeiro o movimento linear em  $y$ , de seguida o movimento linear em  $z$  e por fim o movimento rotacional em  $z$ . Caso a QM esteja mal marcada é realizada mais uma marcação e confirmação, no final volta para a posição de origem, mesmo que a QM continue mal marcada.

Chegando à posição de origem, é verificado se é necessário marcar na parte de trás do pneu. Caso não seja necessário, o programa vai para o início esperando por nova ordem de marcação. Se for necessária a marcação na parte de trás, o programa continua.

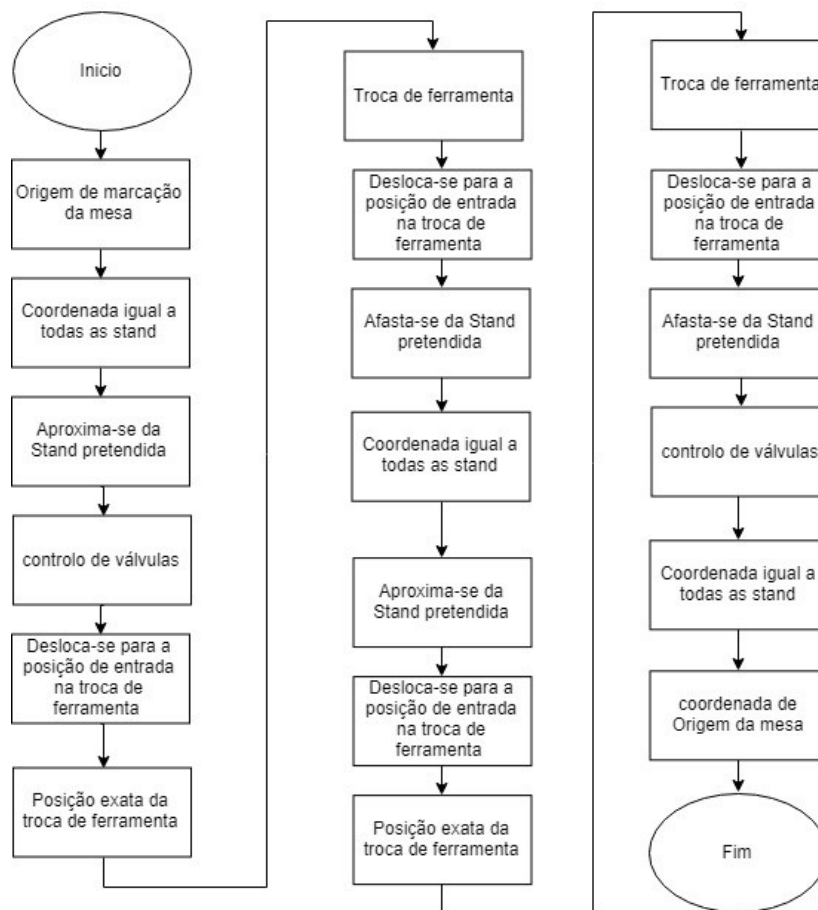
### **Zona de marcação, parte de trás**

É realizado o contorno do pneu até uma coordenada em que o centro seja o do pneu, mas afastado do flanco.

Todas as etapas e sequências de marcação são iguais às da zona de marcação da parte da frente do pneu, com a exceção do eixo  $z$  da chegada ao ponto de marcação. A parte de trás do pneu em qualquer mesa está bem definida, já que durante o seu posicionamento está sempre em contacto com uma base que é sempre conhecida a sua posição. Como o movimento é no eixo  $z$  da troca de ferramenta, esta cota é sempre a mesma e não é enviada pelo PLC.

Chegando ao final da rotina é enviado novamente para a frente do pneu, posição de origem, à espera de nova marcação.

Como referido durante a execução do programa principal, existe um programa para a troca de ferramenta, cujo fluxograma está demonstrado na Figura 76.



**Figura 76 Diagrama de blocos do funcionamento do programa de troca de ferramenta**

Este programa só é executado quando é necessário a troca de ferramenta. Para garantir que está numa posição conhecida, antes de executar o movimento para a coordenada igual a todos os *stands*, é movimentado para a posição de origem da mesa. De seguida, aproxima-se do *stand*, ficando verticalmente alinhado com o mecanismo da troca de ferramenta, é realizada a aproximação do mecanismo até à distância das ferramentas serem mínimas. Todos estes movimentos são executados à velocidade máxima.

Antes do acoplamento das ferramentas, é necessário desbloquear as esferas da troca de ferramenta que está no *stand*, e bloquear todo o ar que necessita de passar entre a troca de ferramenta, neste caso, é a ativação da válvula do KBA e garantir que a válvula do cilindro que atua o pino de marcação está desligada.

Com as condições todas reunidas, é dada a ordem de movimentação para o local onde as trocas de ferramenta se copulam, este movimento é linear e de velocidade reduzida.

Chegando à posição exata para se conectarem, é mandado acoplar a troca de ferramenta do *stand*, e esta estando acoplada é mandado desacoplar a troca de ferramenta acoplada no robô.

Estando a troca realizada, o robô dirige-se linearmente para a coordenada em que os mecanismos se encontram a uma distância mínima, a uma velocidade reduzida, e de seguida, à velocidade máxima, dirige-se para a coordenada igual para todos os *stands* passando pela coordenada de aproximação ao *stand*.

É realizado o processo inverso para acoplar a garra ao robô. O programa termina com a chegada da ferramenta à coordenada de origem da marcação da mesa.

### **Programação *online***

A programação *online* foi utilizada essencialmente para redefinir os pontos utilizados no desenvolvimento dos programas *offline*. Estes pontos foram alterados devido ao facto de o espaço livre estar limitado e à mesa não ser a projetada.

Também foi utilizada a programação *online* para definir os grupos de entrada e de saída do robô, para utilização na comunicação PROFINET. Para a criação dos grupos, é necessário definir quais os *bits* que ficam no mesmo grupo. É procedido à inserção de quatro valores, o valor da “*rack*”, valor atribuído ao módulo desejado para criação dos grupos, o valor da “*slot*”, isto é, o valor da porta referente à placa utilizada, o valor da “*start pt*”, o valor onde começa o grupo e “*num pts*”, ou seja, o valor do número de *bits* desejado para formar o grupo, estes *bits* são sequenciais. Estes valores estão definidos na tabela de entradas e saídas dos grupos.

## 6. TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo pretende-se demonstrar os resultados obtidos durante os testes realizados com o objetivo de apresentar o bom funcionamento do mesmo. Também serão mencionadas as validações durante o projeto de forma a averiguar a validade da sua implementação.

### 6.1. FERRAMENTA DE MARCAÇÃO

A ferramenta de marcação foi das primeiras validações no decorrer do projeto, uma vez que era um dos objetivos e a base do projeto. É possível observar o seu resultado na Figura 77. É notória a incorporação do KBA, componente obrigatório, imposto pelo cliente. As validações das forças foram positivas uma vez que funcionou na perfeição, nada cedeu durante os testes realizados.



**Figura 77 Resultado da ferramenta de marcação**

Na Figura 78 é possível verificar que a garra consegue entrar facilmente dentro do pneu e que a zona de marcação está sempre em direção ao centro do pneu, a marcação da QM foi sempre bem realizada (ver Figura 79), validando assim a perfeita implementação da garra. Também foi implementada a marcação da segunda QM no mesmo local, dando como válido a realização da sobreposição da QM.



**Figura 78 Validação da zona de marcação**



**Figura 79 Validação da marcação da QM**

## **6.2. TROCA DE FERRAMENTA**

Os dois requisitos necessários para a troca de ferramenta foram testados com sucesso. O posicionamento correto da troca de ferramenta é visível na Figura 80, apresentando assim bons resultados a nível de precisão e repetibilidade, uma vez que foram executadas várias trocas de ferramenta sequenciais e não se manifestou nenhuma anomalia.



**Figura 80 Validação da troca de ferramenta**

A troca de ferramenta foi bem dimensionada, visto que, com o robô a funcionar a 100% da velocidade máxima, a troca de ferramenta não se desacoplou uma da outra.

O dimensionamento do circuito elétrico para manter o controlador do KBA sempre em comunicação com o KBA foi executado com uma boa eficácia, uma vez que nunca fez *reset* devido a esse fator.

### **6.3. MESAS DE MARCAÇÃO**

Todas as mesas foram improvisadas, uma vez que não foram desenvolvidas na prática as mesas criadas em ambiente CAD. Estas foram compostas por dois cavaletes e uma tábua, onde foi colocado o pneu, e uma cinta à volta do pneu para o fixar, como é possível observar na Figura 81. A improvisação das mesas teve em consideração alguns fatores que, até então, estavam menos visíveis, como por exemplo, a força de aperto do pneu, a posição precisa do pneu e a firmeza da solução. Estes fatores levaram a dificuldades em termos de testes em algumas mesas, tal como na mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo. Mesmo com o imprevisto das mesas o resultado foi o equivalente aos testados em simulação.





**Figura 81 Validação da mesa de marcação**

### **6.3.1. MESA DO PNEU EM PÉ COM O TALÃO DIRECIONADO PARA O ROBÔ**

Os testes realizados na mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô foram positivos, não sendo encontradas falhas a nível de marcação da QM, nem a nível de desenvolvimento do projeto, e o robô consegue marcar em toda a zona do talão do pneu como pretendido. É possível observar na Figura 82 a implementação testada para esta solução.



**Figura 82 Validação da mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô**

### **6.3.2. MESA DO PNEU COM PISO DIRECIONADO PARA O ROBÔ, COM UMA INCLINAÇÃO DE 30 GRAUS COM O SOLO**

Os testes realizados na mesa do pneu com o piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo, foram os esperados pela simulação. A marcação da QM foi realizada sem falhas na parte da frente do pneu, como se pode verificar na Figura 83. Por

sua vez, esta era a mesa mais instável, dando a sensação de que rebocava o pneu no momento de fecho do cilindro de marcação. Este facto deve-se à flexão do pneu e às condições de apoio do pneu não serem as ideais.



**Figura 83 Validação da parte da frente da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

Na Figura 84 é possível observar a marcação na parte de trás do pneu. É de notar que se a marcação for realizada na zona inferior do pneu, a cabeça de marcação irá embater na mesa improvisada, um exemplo prático de que a mesa não poderá ser mais larga que o piso do pneu.



**Figura 84 Validação da parte de trás da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

Conclui-se assim que os testes foram positivos e correspondentes aos simulados.

### 6.3.3. MESA DO PNEU DEITADO

Os testes na mesa do pneu deitado foram alcançados com sucesso, uma vez que a marcação foi realizada sem qualquer problema. É possível observar na Figura 85 a demonstração da mesa improvisada com o robô na fase de entrada do pneu pela parte de cima.



**Figura 85 Validação da parte de cima da mesa do pneu deitado**

Durante os testes, verificou-se que o apoio da ferramenta é relativamente pequeno, como pode ser observado na Figura 86. Tal facto acaba por ser um inconveniente, uma vez que o braço do robô é mais largo que a ferramenta. Assim sendo, as mesas necessitam de estar mais afastadas do que aquilo que verdadeiramente necessitariam.



**Figura 86 Validação da parte de baixo da mesa do pneu deitado**

#### 6.3.4. CONCLUSÃO DAS MESAS DE MARCAÇÃO

Durante o desenvolvimento das mesas foram criados alguns tópicos para comparação entre elas. A Tabela 6 corresponde à mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo, a Tabela 7 à mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô e a Tabela 8 à mesa do pneu deitado.

**Tabela 6 Avaliação da mesa do pneu com piso direcionado para o robô, com uma inclinação de 30 graus com o solo**

| <b>Objetivo</b>            | <b>Cotação</b> | <b>Observações</b>  |
|----------------------------|----------------|---|
| Tempo de ciclo             | 5              | O pneu nunca mexe, robô mais rápido   |
| Precisão                   | 4              | Marcação no local pretendido  |
| Repetibilidade             | 4              | Posicionamento do pneu  |
| Tipos de pneus             | 3              | Não podem ser muito finos   |
| Área de implantação        | 3              | (5 mais pequena)  |
| Tamanho robô               | 4              | (5 mais pequena)  |
| Complexidade               | 5              | (5 menos complexo)  |
| Manutenção                 | 5              | (5 menos manutenção)  |
| Custo                      | 5              | (5 mais barato)   |
| Esforço de desenvolvimento | 4              | Capacidade de usar componentes que já existem, desenvolvimento já realizado |
| Total                      | 42             |   |

**Tabela 7 Avaliação da mesa do pneu em pé com o talão direcionado para o robô**

| <b>Objetivo</b>            | <b>Cotação</b> | <b>Observações</b>  |
|----------------------------|----------------|---|
| Tempo de ciclo             | 3              | O pneu mexe 180 graus, robô mais rápido                                     |
| Precisão                   | 5              | Marcação no local pretendido  |
| Repetibilidade             | 5              | Posicionamento do pneu  |
| Tipo de pneus              | 4              | Não podem ser muito finos   |
| Área de implantação        | 3              | (5 mais pequena)  |
| Tamanho robô               | 5              | (5 mais pequena)  |
| Complexidade               | 4              | (5 menos complexo)  |
| Manutenção                 | 4              | (5 menos manutenção)  |
| Custo                      | 4              | (5 mais barato)   |
| Esforço de desenvolvimento | 3              | Capacidade de usar componentes que já existem, desenvolvimento já realizado |
| Total                      | 40             |   |

**Tabela 8 Avaliação da mesa do pneu deitado**

| <b>Objetivo</b>            | <b>Cotação</b> | <b>Observações</b>  |
|----------------------------|----------------|---|
| Tempo de ciclo             | 5              | Roda no centrado, robô mais rápido  |
| Precisão                   | 5              | Marcação no local pretendido  |
| Repetibilidade             | 4              | Posicionamento do pneu  |
| Tipo de pneus              | 5              | Pode ser qualquer pneu  |
| Área de implantação        | 3              | (5 mais pequena)  |
| Tamanho robô               | 5              | (5 mais pequena)  |
| Complexidade               | 3              | (5 menos complexo)  |
| Manutenção                 | 4              | (5 menos manutenção)  |
| Custo                      | 4              | (5 mais barato)   |
| Esforço de desenvolvimento | 5              | Capacidade de usar componentes que já existem, desenvolvimento já realizado |
| Total                      | 43             |   |

Analisando as tabelas pode-se concluir que a melhor mesa para desenvolvimento na empresa é a mesa do pneu deitado, isto porque alguns destes tópicos são referentes à empresa em si, como por exemplo, o esforço de desenvolvimento que é o nível de desenvolvimento necessário para a empresa produzir esse tipo de mesa, contando com o já desenvolvido para outros equipamentos.

#### **6.4. VISÃO ARTIFICIAL**

No capítulo anterior foram mencionados alguns testes relativamente ao *hardware* da visão artificial que foram realizados com sucesso, como por exemplo, a execução com apenas uma câmara, o que leva a adquirir capturas de imagem a duas distâncias diferentes. A lente eficaz para o processo é de 8 mm, ficando por testar uma lente de 10 mm que se presume ser a mais adequada para a resolução do problema.

Os testes realizados com o polarizador foram benéficos, uma vez que clareiam a imagem sem provocar reflexão direta na lente. A iluminação artificial foi o teste menos bem conseguido, mas, ainda assim, satisfatório. Isto porque existiam pequenos instantes em que se fazia sentir a luz ambiente, criando sombras indesejadas.

#### 6.4.1. VALIDAÇÃO DO PROGRAMA SPOT

O objetivo do programa SPOT foi atingido com sucesso, sendo possível observar o resultado na Figura 87. É possível observar o tratamento em dois cenários diferentes, o cenário do lado esquerdo da imagem representa o pneu implementado na mesa improvisada para a realização dos testes, enquanto que o cenário do lado direito está implementado com um tapete usado na prática. As uniões destes dois testes indicam que em qualquer situação o programa funciona sem qualquer problema.

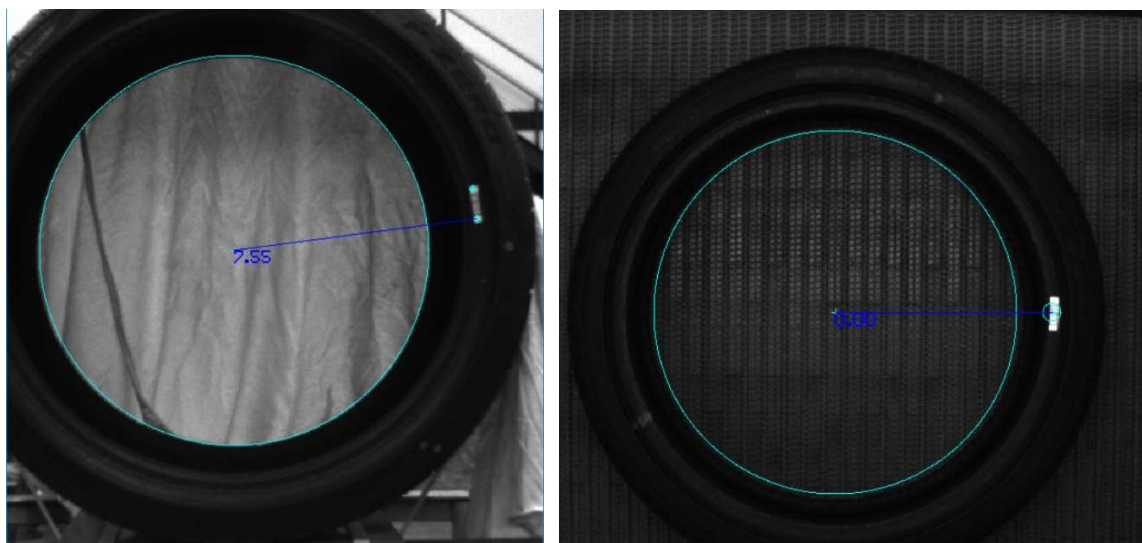


Figura 87 Validação do programa SPOT

Na Figura anterior é possível observar os números escritos no centro do pneu, sendo estes o objetivo do programa, indicando desta forma, qual o ângulo referente a um eixo pré-definido. Os círculos apresentados nas imagens são os círculos em que o programa se baseia para realizar os cálculos, mostrando que são os círculos pretendidos.

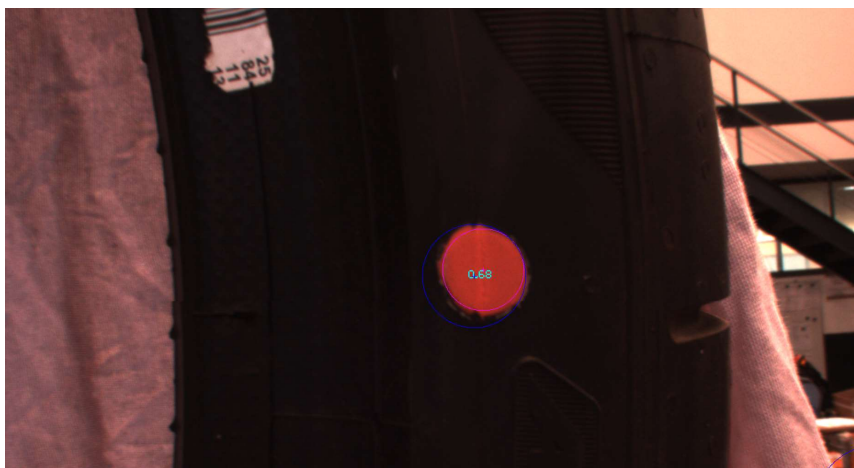
#### 6.4.2. VALIDAÇÃO DO PROGRAMA QM

O objetivo do programa QM foi atingido com sucesso, como se verifica na Figura 88 e na Figura 89. É possível observar a vermelho a QM realizada na prática: um círculo azul que indica qual o tamanho real que o círculo deveria conter, um círculo roxo que indica qual o círculo que melhor se adequa à QM real e números com a cor azul claro que indicam a densidade da QM.





**Figura 88 Resultado do programa QM**



**Figura 89 Resultado do programa QM**

Para a validação do círculo existem vários parâmetros utilizados, tais como, o raio da QM, a densidade da QM e o erro de circularidade da QM realizada em relação ao círculo perfeito. A validação do raio da QM indica se está compreendido dentro dos valores aceitáveis. A validação da densidade da QM serve para verificar se existem falhas de pigmentação de cor no seu interior. O cálculo é realizado verificando todos os pixels de cor vermelha contidos no círculo de cor azul da imagem anterior, sobre todos os pixels analisados. O erro de circularidade da QM é importante uma vez que dá a percepção da linearidade da circunferência, sendo um dos parâmetros avaliados pelo cliente. Todos estes parâmetros são escritos na linha de comandos para a sua visualização, como é possível observar na Figura 90.

```
A densidade Real Ú de = 0.681084  
raio mmaior=90  
erro= 0.695271
```

**Figura 90 Demonstração dos dados inseridos na linha de comandos pelo programa QM**

Uma observação possível de realizar com os testes deste programa foi a diferença de valores para a mesma QM. As duas imagens representadas anteriormente são a mesma QM, mas com valores diferentes. Isto, deve-se à QM não estar paralela à câmara, devido à sua marcação ter sido numa zona com diferenças de altura. Uma das soluções é o ajuste da câmara no momento da captura da imagem.

#### **6.4.3. VALIDAÇÃO DO ROBÔ**

A validação do robô foi sendo descrita durante todo o relatório, visto que é o componente principal do projeto e os restantes componentes foram desenvolvidos em torno dele. A programação e a comunicação PROFINET também foram validadas com sucesso.





## 7. CONCLUSÕES

Ao longo do relatório foram sendo apresentadas conclusões que permitiram sustentar as opções de desenvolvimento efetuadas ao longo do projeto. Assim, neste último capítulo é realizada uma síntese do projeto, validação dos objetivos, consequências e relevância do trabalho realizado e, por fim, perspectivas futuros desenvolvimentos.

Todo o conteúdo apresentado neste relatório foi elaborado durante a unidade curricular Tese/Dissertação. Para o seu desenvolvimento foi necessário um estudo alongado de diversas matérias, relacionadas com os pneus, com a robótica, com a mecânica e com a visão artificial, dando assim capacidade para o desenvolvimento e implementação de *hardware* e *software*. Toda a implementação foi exposta a testes, passando por várias fases, com o intuito de validar e colmatar os problemas encontrados.

Inicialmente, tendo em conta o objetivo do projeto, foram criadas várias soluções, passando pela criação de garras mecânicas e de mesas capazes de suportar o pneu durante a marcação, ficando assim, com três protótipos para a solução do problema. Foi desenvolvido *software* para o robô de modo a realizar a marcação da QM em cada solução encontrada. De seguida, foram colmatados outros objetivos, passando pela criação de dois *softwares* para a implementação de visão artificial, com o intuito de validar a QM marcada e de indicar o ângulo do código de barras do pneu relativamente a um eixo pré-definido. Por fim, foi

executado na prática todo o conjunto de soluções encontradas de modo a validar o projeto desenvolvido.

Durante o desenvolvimento do projeto encontraram-se dificuldades na realização do *software* do robô, sendo solucionadas com partilha de informação com o fabricante. Foram ainda sentidas dificuldades na criação da garra devido à falta de experiência na área, mas foram ultrapassadas com pesquisa e partilha de informação com os engenheiros da empresa. Uma das dificuldades não ultrapassadas foi a interligação de todos os equipamentos que necessitavam de comunicação por cabo *Ethernet*, uma vez que não foi conseguido obter o equipamento que solucionaria o problema a tempo da implementação.

Durante os testes foram levantadas diversas questões, as quais levam a possíveis futuros desenvolvimentos, como por exemplo, a implementação de um sensor capaz de detetar a existência do pneu no momento de marcação, a uma reestruturação da garra mudando o equipamento que ficaria no stand e à otimização do código do robô para diminuição do tempo de ciclo.

Assim, o projeto contribuiu para o aumento do conhecimento de várias áreas até então menos abordadas, tendo aberto novos horizontes a nível pessoal, académico e profissional. Acima de tudo, é satisfatório concluir que o projeto desenvolvido foi de encontro com os objetivos pretendidos.

## *Referências Documentais*

- [1] Gislótica – Mechanical Solutions, Products Catalogue, edition 2019
- [2] Código de Ética e Conduta, Gislótica – Mechanical Solutions, versão 1, 2019
- [3] Diana Michele Ferreira; Murilo Rodolfo Fernandes; Emilena Josimari Lorenzon – recauchutagem de pneus de carga, uma alternative renovavel para este passivo Ambiental. Versão 5, 2015. ISSN:2238-8370
- [4] OPONEO.IE- Car Tyre Marking – A Complete Guide. 27/12/2017.  
<https://www.oponeo.ie/tyre-information/car-tyre-markings-a-complete-guide>
- [5] SÊRWIR rótulos & etiquetas- <http://www.serwir.ind.br/etiquetas-para-pneus>
- [6] Maria Eduarda Matos Morim da Silva- Avaliação do Sistema Inovador de marcação de pneus. Julho 2015
- [7] André, Marques; Bruno, Fernandes; Daniel, Almeida; José, Sá- Robôs atuados por Cabos. 2/01/2018
- [8] Filipe Daniel Ferreira- Desenvolvimento da componente de control e de montage de um sistema de montagem de Pinças Kocher. 30/07/2018
- [9] L. F. S. Mendes- “Aplicações Industriais de Robôs,” 2010.  
[https://azslide.com/aplicacoes-industriais-de-robos\\_59f4e3c91723dda1a6df760c.html](https://azslide.com/aplicacoes-industriais-de-robos_59f4e3c91723dda1a6df760c.html)
- [10] M. Silva- ROBIN: Robótica Industrial - Introdução à Robótica. ISEP, Porto, 2016.
- [11] M. B. Pimenta- Estudo de Otimização de Células Robóticas para Processos de Injeção de Volantes. FEUP, Porto, 2017.
- [12] M. Silva- ROBIN: Robótica Industrial- Métodos de Programação de Robôs Industriais. ISEP, Porto, 2018
- [13] Kerak, Peter; Holubek, Radovan- Automatic gripper Exchange in intelligent manufacturing system. Volume 22, 2011
- [14] ATI Industrial Automation - Robotic/Automatic Tool Change. ISSO 9001, 2012
- [15] schunk- [https://schunk.com/us\\_en/gripping-systems/series/sws/](https://schunk.com/us_en/gripping-systems/series/sws/). Acedido: Novembro de 2018
- [16] KBA-Metronic GmbH; labelDot. hpdSYSTEM moto- Tecnical data sheet
- [17] KBA-Metronic GmbH; Hot Foil Coding System With cassette. hpdSYSTEM moto- Tecnical data sheet
- [18] COMTROL; <https://comtrol.com/resources/product-resources-white-papers/white-papers/what-is-profinet>. Acedido: fevereiro de 2019

- [19] profinet university; <https://profinetuniversity.com/profinet-basics/definition-profinet/>. Acedido: Fevereiro de 2019
- [20] Marcelo Rodrigues; PROFINET- O padrão Ethernet Industrial para automação. SIEMENS LTDA, 2010
- [21] The Endress+Hauser Group;  
<https://www.pt.endress.com/pt/solu%C3%A7%C3%B5es/rede-campo-planta-ciclo-vida/fieldbus-technology/profinet-tecnologia>. Acedido: Fevereiro de 2019
- [22] Hélio Pedrini; William Robson Schwartz- Análise de Imagens Digitais – Principios, algoritmos e aplicações. 2008
- [23] stemmer-imaging- <https://www.stemmer-imaging.com/en/>. acedido: Março de 2019
- [24] Staubli; Cutting the perfect tread. <https://www.staubli.com/en-us/robotics/solution-application/automotive/tires/success-story-continental/>. Acedido: Outubro de 2018
- [25] CIMCORP- Catálogo de 2011
- [26] Gislotica – Mechanical Solutions- Catálogo de 2019

## Anexo A. Mesas de marcação

Inicialmente foram pesquisados vários tipos de mesas, como construir e a sua melhor opção. Para tal é apresentado um pequeno resumo de cada mesa, e no fim é criada uma tabela de prós e contras sobre cada uma.

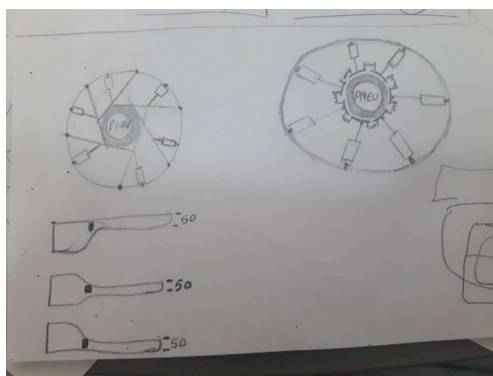
Paralelamente a isto foi sendo feita a validação dos pneus com o programa ROBOGUIDE.

### Mesa1 (mesa redonda)

Seria uma mesa redonda com 4 garras, estas apertam o pneu pelo trilho. O aperto é realizado por pinos e teriam uma mini base para reduzir o risco de o pneu cair. Não teria nada nem por cima, nem por baixo, para o robô conseguir executar a função sem mexer o pneu.



**Figura 1 Ilustração dos apoios da mesa redonda**



**Figura 2 Ilustração dos apoios da mesa redonda com mais área de contacto**

### **Mesa 2 (continuação da linha de montagem)**

Seria um tapete rolante; o pneu segue deitado por uma mini base para o robô conseguir atuar nos 2 lados do pneu. Pode ter alguns pinos para uma melhor segurança do pneu. Difícil para diferentes tamanhos de pneus.



**Figura 3 Ilustração da continuidade da linha de montagem**

### **Mesa 3 (continuação da linha de montagem com rotação do pneu)**

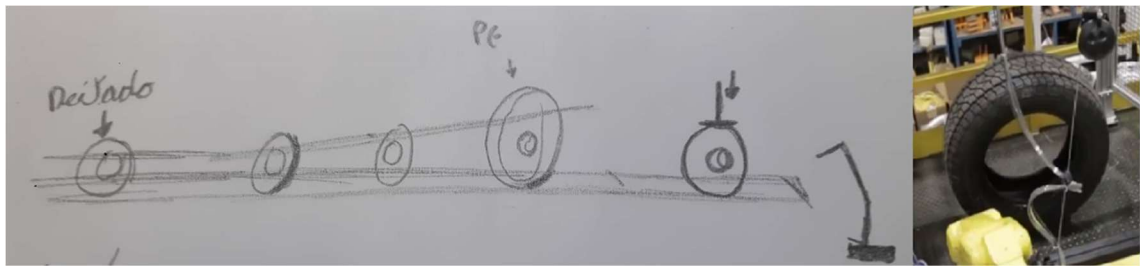
Seria um tapete rolante; o pneu segue deitado normalmente. Necessita de rodar o pneu ao contrário para conseguir marcar em ambos os lados.



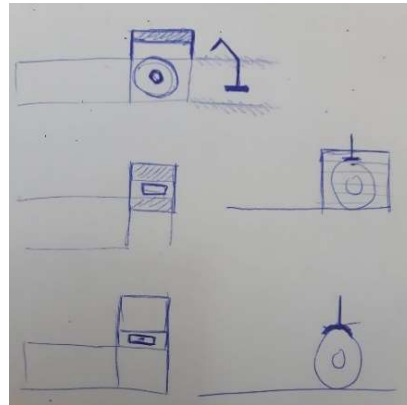
**Figura 4 Ilustração da continuidade da linha de montagem com rotação do pneu**

### **Mesa 4 (pneu em pé)**

No decorrer da mesa existiria algo que colocava o pneu em pé, existindo um pino a pressionar a parte de cima (no trilho) para diminuir a probabilidade de o pneu cair. O pneu teria de ficar virado para o robô para ter acesso aos 2 lados (2 marcações).



**Figura 5 Ilustração de um conceito para a colocação do pneu em pé**

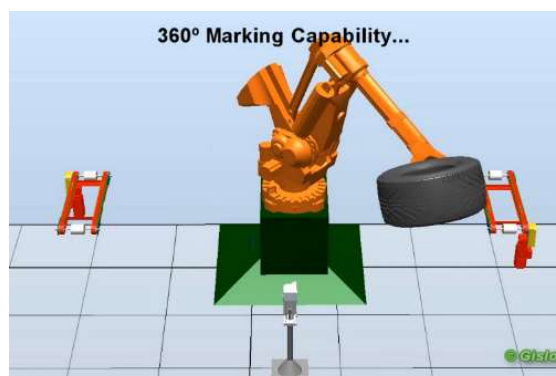


**Figura 6 Ilustração de um conceito para fixação do pneu em pé**

### **Mesa 5 (pegar no pneu)**

O robô pega no pneu no final da linha, leva-o até à respetiva marcação e no final coloca-o numa outra linha.

Esta opção não é o pretendido, mas não deixa de ser uma hipótese.

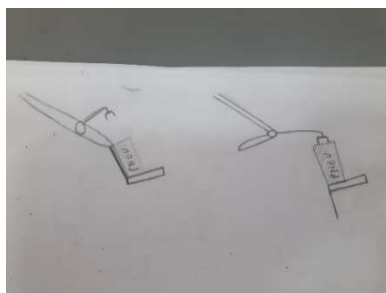


**Figura 7 Ilustração de um conceito para a colocação do pneu em pé**



### **Mesa 6 (pneu inclinado) opção pensada depois do robô não marcar toda a área num pneu horizontal**

A mesa recebe o pneu inclinado aproximadamente 60°, tem um pino que segura o pneu para ele não mexer. Se for necessário a marcação do outro lado do pneu, o sistema de abastecimento é retirado oferecendo a parte “escondida”, esta fica assim disponível para o robô trabalhar.

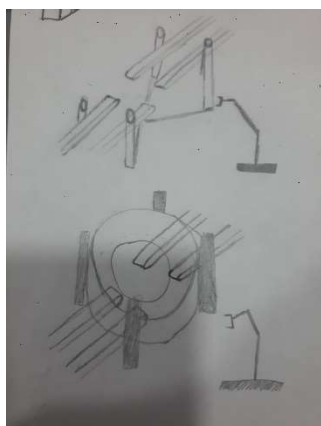


**Figura 8 Ilustração de um conceito para a colocação do pneu inclinado**

### **Mesa 7 (continuação da linha de montagem com rotação do pneu)**

Continuação da linha de montagem com rotação do pneu para marcação em 2 pontos, um na parte de cima e o outro na parte de baixo do pneu.

A mesa é a continuação do tapete da linha de montagem, existe apenas um “rasgo” perpendicular ao tapete para possibilitar a entrada do marcador na parte de baixo do pneu. Tem 4 pinos para prender o pneu e rodá-lo para que o ponto desejado para a marcação fique no local onde tem o “rasgo”.



**Figura 9 Ilustração de um conceito para a rotação do pneu deitado**

| Mesa  | Facilidades   | Dificuldades  |
|---|---|---|
| mesa redonda  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- o braço chega fácil a todo o pneu</li> <li>- rápida passagem de pneus</li> <li>- pegar e largar o pneu</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- segurar pneu enquanto é marcado</li> <li>- pneu mais largo dificuldade em chegar a algumas partes</li> </ul>                 |
| continuação da linha de montagem                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- o braço chega fácil a todo o pneu (Este robô não pela simulação)</li> <li>- rápida passagem de pneus</li> <li>- não deforma ao marcar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- diferentes pneus não sei como resolver XD</li> </ul>   |
| continuação da linha de montagem com rotação do pneu              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- não deforma ao marcar</li> <li>- <i>hardware</i> fácil</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisa de inverter o pneu</li> </ul>  |
| pneu em pé  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- o braço chega fácil a todo o pneu</li> <li>- rápida passagem de pneus</li> <li>- fácil segurar o pneu em pé</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- deve deformar ao segurar o pneu em pé</li> <li>- <i>hardware</i> a pensar por causa da enorme diferença dos pneus</li> </ul> |
| Pegar em pneu   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- o braço chega fácil a todo o pneu</li> <li>- rápida passagem de pneus</li> <li>- pegar e largar o pneu</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- deve deformar ao segurar</li> <li>- aumento da capacidade do robô</li> </ul>   |
| Pneu inclinado  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- o braço chega fácil a todo o pneu</li> <li>- rápida passagem de pneus</li> <li>- fácil <i>hardware</i></li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- retirar apoios do pneu para robô marcar no 2º lado</li> </ul>  |
| continuação da linha de montagem com rotação do pneu (ponto fixo) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- o braço chega fácil aos 2 pontos</li> <li>- necessita de um robô com menor alcance que os outros</li> <li>- fácil <i>hardware</i></li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- necessita de um controlador com 1 eixo extra</li> </ul>  |



## Anexo B. Circuito elétrico

